

بررسی اثر محرک‌های زیستی بر میزان آب و عناصر کم‌مصرف و پرمصرف گیاه شورزی *Puccinellia distans* در شرایط تنش شوری

سعید حسینی^۱، لیلا شبانی^{۱*} و محمدرضا سبزیعلیان^۲

^۱ گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد

^۲ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۱/۱۶)

چکیده

محرک‌های زیستی ترکیبات متنوعی با منشاء گیاهی و جانوری هستند که برای کاهش اثرات ناشی از تنش روی گیاهان استفاده می‌شوند. در این مطالعه که در سال ۱۳۹۹ انجام شد، اثر آلگابن [محرک زیستی عصاره جلبک دریایی (SWE)] و بنامید (محرک زیستی آمینواسیدی) بر گیاه شورزی *Puccinellia distans* به‌منظور کاهش اثرات تنش شوری با بهبود شرایط رشد و جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف بررسی شد. آزمایش در یک طرح کاملاً تصادفی با اسپری آلگابن (۰/۵ g/l) و بنامید (۲ g/l) و آبیاری با نمک [EC=27.18 dS/m, 300 mM] بر روی نشاءهای ۴۵ روزه کشت‌شده در گلدان، انجام گرفت. نتایج نشان داد که اعمال این غلظت از شوری بطور معنی‌داری سبب کاهش وزن خشک و تر اندام هوایی و ریشه، افزایش نشت غشاء، کاهش مقدار عناصر کم‌مصرف و پرمصرف و فاکتور انتقال این عناصر، کاهش فاکتور تجمع مس، آهن، پتاسیم، سدیم، فسفر و روی می‌شود. پیش‌تیمار با محرک‌های زیستی در شرایط کنترل (NSC) و شوری (SC) در همه شاخص‌ها سبب کاهش اثرات تنش شوری شد و مصرف محرک زیستی بنامید در مقایسه با آلگابن، اثرات فیزیولوژیکی بهتری بر گیاه داشت. در مجموع به‌نظر می‌رسد که محرک‌های زیستی در کاهش تنش شوری در یک گیاه شورزی سازگار به شوری نیز مؤثر بوده ولی روش و میزان مصرف محرک‌های زیستی نیاز به مطالعه بیشتری دارد.

واژگان کلیدی: آلگابن، بنامید، فاکتور انتقال، فاکتور تجمع

مقدمه

استفاده می‌شود (Himabindu et al., 2016). کانال‌ها و انتقال‌دهنده‌های مختلف بطور فعال در تطبیق Na^+ ، Cl^- و K^+ در بافت‌های گیاهان شورزی نقش دارند. به خوبی شناخته شده است که جذب Na^+ از خاک به ریشه عمدتاً از طریق مسیرهای آپوپلاستی و سیمپلاستی صورت می‌گیرد (Arif et al., 2020). گیاهان می‌توانند با استفاده از دو راهکار به تنظیم اسمزی دست یابند: (۱) افزایش جذب یون‌های معدنی و (۲) سنتز جدید

گیاهان، از جمله شورزی‌ها، چندین راهکار بیوشیمیایی را برای سازگاری با اثرات نامطلوب ناشی از شوری اتخاذ می‌کنند. به‌عنوان مثال، همئوستازی یونی، تنظیم اسمزی و سم‌زدایی ROSها (Reactive Oxygen Species) از جمله مکانیسم‌های بیوشیمیایی مهمی هستند که توسط گیاهان برای محافظت از ترکیبات سلولی خود در برابر اثرات مخرب نمک بیش از حد،

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: lshabani@gmail.com

nodosum بر روی گیاه گوجه‌فرنگی ریز در شرایط تنش شوری سبب افزایش رشد گیاه و افزایش تجمع عناصر، آنتی‌اکسیدان‌ها و اسیدآمین‌های ضروری در میوه‌ها شد (Di Stasio *et al.*, 2018). محلول‌پاشی گیاه کاهو با محرک زیستی پروتئین هیدرولیز شده گیاهی سبب افزایش وزن تر و خشک، بهبود محصول و افزایش عناصر P، K و Fe شد (Rouphael *et al.*, 2017). اگرچه تحقیقات قبلی نقش مهم محرک‌های زیستی را در بهبود مقاومت به تنش در گیاهان گزارش کرده‌اند (Rouphael *et al.*, 2017; Desoky *et al.*, 2018; Di Stasio *et al.*, 2018)، اما دقیقاً مشخص نیست که این ترکیبات چگونه در شرایط تنشی عمل می‌کنند. عصاره جلبک‌ها (SWE) تعدادی مسیر را برای افزایش تحمل در برابر تنش هدف قرار می‌دهند؛ بطور کلی در گیاه سبب پاکروبی ROSها، پایداری غشاء و حفاظت اسمزی می‌شوند و در بخش هوایی سبب تنظیم روزه‌ها و هدایت آبی آوند چوبی و در بخش ریشه‌ای سبب در دسترس بودن آب در ناحیه ریشه و تنظیم سطوح اکسین و اتیلن ریشه می‌گردند (Van Oosten *et al.*, 2017).

با توجه به این واقعیت که بسیاری از محصولات عمده تجاری، گلیکوفیت‌های تک‌لپه‌ای هستند، درک مکانیسم‌های تحمل نمک در شورزی‌های تک‌لپه‌ای می‌تواند به برنامه‌های اصلاحی برای بهبود تحمل به نمک در غلات کمک کند. در این تحقیق گیاه سیاه ناو (*Puccinellia distans*) از خانواده Poaceae، که یک شورزی تک‌لپه‌ای است و در شمال، شمال غرب و مرکز ایران پراکنده است مورد آزمایش قرار گرفت که به‌عنوان یکی از مطلوب‌ترین گونه‌های چمن برای تثبیت مراتع شور و جلوگیری از فرسایش محسوب می‌شود. بطور معمول این گیاه می‌تواند در خاک‌های شور و قلیایی با سطح آب زیرزمینی بالا یا خاک‌های سنگین با زهکشی متوسط رشد کند (Akhani, 2006) و زمین‌های شور با هدایت الکتریکی حداکثر ۳۳ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل کند (Akhzari *et al.*, 2012).

کارایی محرک‌های زیستی برای خنثی‌سازی شرایط تنش در گیاهان به پارامترهای مختلفی از جمله نحوه استفاده از محرک‌های زیستی، زمان کاربرد و غلظت آن‌ها و تنوع، شدت

اسمولیت‌های آلی برای حفظ فشار تورژسانس و حجم اندامک در سلول‌های گیاهی در حال رشد (Zhao *et al.*, 2020). اساساً، برای اطمینان از تنظیم اسمزی در سلول‌ها وجود Na^+ و Cl^- در واکوئل‌ها و همچنین K^+ و املاح آلی سازگار مانند پرولین و قندها در سیتوپلاسم، در یک محیط اسمزی ناشی از نمک بسیار مهم هستند (Munns *et al.*, 2020).

تحمل تنش شوری در گیاهان را می‌توان با رویکردهای مختلف از جمله دستکاری‌های ژنتیکی (Van *et al.*, 2020)، تلقیح با قارچ میکوریز (Evelin *et al.*, 2019)، استفاده از مواد آلی و کودهای زیستی و پیش‌تیمار بذر (Masondo *et al.*, 2019; Abdelhamid *et al.*, 2018)، محلول‌پاشی مواد آلی و معدنی و کاربرد محرک‌های زیستی (Latef *et al.*, 2017; Zahedi *et al.*, 2020) بهبود بخشید. طبق تعریفی که توسط du Jardin (۲۰۱۲) ارائه شده است، محرک‌های زیستی تنظیم‌کننده فرآیندهای زیستی گیاه هستند که رشد و استفاده از منابع را در شرایط تنش یا بدون تنش افزایش می‌دهند. آن‌ها محرک‌های زیستی را به هفت گروه طبقه‌بندی کردند، از جمله: عصاره‌های جلبک دریایی و گیاهان، پروتئین‌های هیدرولیز شده و ترکیبات حاوی نیتروژن، اسیدهای هیومیک و فولویک، کیتوزان و سایر پلیمرهای زیستی، ترکیبات معدنی و قارچ‌ها و باکتری‌های مفید. محرک‌های زیستی حاوی ترکیبات فعال بیولوژیکی هستند و با افزایش متابولیسم‌های اولیه و ثانویه (Bulgari *et al.*, 2017; Yakhin *et al.*, 2015) می‌توانند با افزایش کارایی آب، فتوسنتز و افزایش جذب مواد مغذی از خاک و خنثی‌سازی تنش‌های غیرزیستی، تحریک رشد گیاه را بهبود بخشند (Van Oosten *et al.*, 2017; Yakhin *et al.*, 2017). در تحقیقی استفاده از نوعی هوموس (بعنوان محرک زیستی) به خاک و عصاره برگ *Moringa oleifera* بصورت محلول‌پاشی بر روی گیاه سورگوم در تنش شوری سبب افزایش شاخص‌های رشد، محتوای DNA و RNA، فیتوهورمون‌ها، حفاظت اسمزی و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی شد (Desoky *et al.*, 2018). اثر محرک زیستی عصاره جلبکی (SWE) گرفته شده از جلبک *Ascophyllum*

حاوی ترکیباتی شامل: اسید آلژینیک (۱۸ درصد)، NO_3 (۱ درصد)، K_2O (۱۶ درصد)، H_2PO_4 (۱ درصد) و بنامید به عنوان محرک زیستی اسیدآمینهای، حاوی اسیدآمین (۸۵ درصد) و نیتروژن (۴ درصد) بودند.

اعمال تیمارهای آزمایش: اثرات محلول‌پاشی دو محرک

زیستی آلگابن و بنامید قبل از تنش (پیش‌تیمار) به ترتیب با غلظت‌های ۰/۵ گرم در لیتر و ۲ گرم در لیتر در شرایط کنترل و تنش شوری بررسی شد. برای این منظور، گیاهچه‌های ۴۵ روزه با محلول‌پاشی ۰/۵ گرم در لیتر آلگابن و ۲ گرم در لیتر بنامید سه بار (هر گلدان ۳۰ میلی‌لیتر) به مدت دو هفته پیش‌تیمار شدند. گیاهچه‌های شاهد با ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر اسپری شدند. برای بهبود کارایی جذب برگی، Tween 80 (یک سورفاکتانت غیریونی) به محلول‌های اسپری (آب، آلگابن و بنامید) اضافه شد. سپس، نیمی از گیاهچه‌های پیش‌تیمار شده با تغذیه محلول نیم قدرت هوگلند حاوی ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl به مدت ۱۵ روز آبیاری شدند. نیمی دیگر از گیاهچه‌ها با تغذیه محلول نیم قدرت هوگلند (بدون نمک) به عنوان شاهد آبیاری شدند. این آزمایش به صورت فاکتوریل از سه تیمار محرک زیستی (آب، آلگابن و بنامید) و دو محلول شوری [کنترل (صفر میلی‌مولار نمک طعام) و شوری (۳۰۰ میلی‌مولار نمک طعام)] در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در هر تیمار، سازمان‌دهی شدند. مبنای استفاده از غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl، آزمایش اولیه‌ای بود که با انجام آن، آستانه تحمل شوری گیاه بدست آمد.

سنجش‌ها: با توجه به اینکه، رشد رویشی گیاه در طبیعت

بعد از گذشت حدود سه ماه کامل شده و به فاز زایشی می‌رود، زمانی که گیاهچه‌ها ۷۵ روزه شدند (بعد از گذشت ۱۵ روز از اثر تیمار)، مبنای پایان آزمایش شد و گیاهچه‌ها برداشت شدند. نمونه‌های گیاه با آب لوله‌کشی شسته و سپس به اندام هوایی و ریشه جدا شدند و برای تعیین وزن توزین شدند. بخش‌های گیاه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک اندام هوایی و ریشه توزین شدند و برای تعیین محتوای آب اندام هوایی و ریشه از رابطه:

و مدت تنش‌ها بستگی دارد. از این‌رو، در این آزمایش از محلول‌پاشی دو محرک زیستی (آلگابن[®] و بنامید[®]) قبل از تنش (پیش‌تیمار) با غلظت‌های پیشنهادی شرکت سازنده برای بررسی اثرات متقابل محرک‌های زیستی و تنش شوری در علف شورزی *P. distans* استفاده شد.

مواد و روش‌ها

بذرهای *Puccinellia distans* از منطقه ساحلی چارقلی در استان گلستان (E 54°00', N 36°58') جمع‌آوری شد. برای استریل سطحی، بذرها در سدیم هیپوکلریت ۵ درصد به مدت ۵ دقیقه قرار داده شدند و سپس بذرها با آب مقطر به مدت ۲ دقیقه شسته شدند. بذرها ضد عفونی شده به مدت ۴۸ ساعت در پتری‌دیش‌های دارای کاغذ صافی خیس شده با ۲ میلی‌لیتر آب مقطر در مکان تاریک نگهداری شدند و بعد از آن به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت جوانه‌زنی پتری‌دیش‌ها به مدت یک هفته درون اتاقک رشد با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دوره نوری ۱۶ ساعت نور و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند (Zhang et al., 2013). برای هر تکرار چهار گیاهچه هفت روزه با ظاهر یکسان انتخاب و در یک گلدان پلاستیکی (قطر فوقانی ۱۵ سانتی‌متر، قطر پایین ۱۲ سانتی‌متر و عمق ۱۵ سانتی‌متر) که با ۲ کیلوگرم مخلوط خاک (خاک و کود حیوانی به نسبت ۴ به ۱) پر شده بودند، قرار گرفتند. بافت خاک از نوع سیلتی‌رسی بود که کود پوسیده گوسفندی به آن اضافه شد و قبل از کشت دارای $\text{EC} = 6/84 \text{ dS/m}$ و $\text{pH} = 7/38$ بود. تمام گلدان‌ها با ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول نیم‌قدرت هوگلند به صورت یک روز در میان آبیاری شدند. گیاهچه‌ها در شرایط گلخانه در دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۷۰ درصد و با دوره نوری ۱۰/۱۴ ساعت (روشنایی/تاریکی) به مدت ۴۵ روز رشد کردند.

ترکیب شیمیایی محرک‌های زیستی: در این مطالعه، از دو

محرک زیستی آلگابن و بنامید (Algabon[®] و Bonamid[®]) موجود در بازار هر کدام با فرمولاسیون بسیار متمایز استفاده شد. آلگابن، محرک زیستی مشتق شده از عصاره جلبک دریایی،

معنی دار بین تیمارها از پس آزمون LSD استفاده شد. سطح معنی داری با $P \leq 0.05$ تعیین شد.

نتایج و بحث

تأثیر پیش تیمار محلول پاشی با محرک‌های زیستی بر محتوای آب گیاهچه‌ها در شرایط کنترل و شوری: نتایج میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار شوری (غلظت ۳۰۰ میلی مولار NaCl) قادر است میزان آب موجود در گیاهچه‌ها را کاهش دهد، این را می‌توان در کاهش معنی دار ۲۳/۸۱ درصدی شاخص وزن تر اندام هوایی و ۱۱/۸۶ درصدی وزن تر ریشه و افزایش معنی دار ۵۶/۸۷ درصدی نسبت وزن تر ریشه به اندام هوایی نسبت به شاهد مشاهده کرد (جدول ۱). با این وجود، شوری نتوانست تغییر معنی داری را در محتوای نسبی آب و رطوبت اندام هوایی و ریشه ایجاد کند که این را می‌توان به شوری بودن گیاه نسبت داد. شوری‌ها دارای ویژگی منحصر به فردی در داشتن رطوبت هستند، ویژگی که جذب یونی را با مقدار زیاد آب، حفظ می‌کند (Flowers *et al.*, 2015). شوری‌ها فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی خود را از طریق تقسیم بندی یونی، تولید اسمولیت‌ها و املاح سازگار، تغییرات آنزیمی و جذب یون‌های انتخابی تنظیم می‌کنند (Shahid *et al.*, 2020). با این حال، Klbus و Stępien (۲۰۰۶) کاهش محتوای نسبی آب خیار (*Cucumis sativus*) را پس از قرارگرفتن در معرض محلول‌های شور گزارش کردند. آنها نتایج خود را به محتوای نمک بالاتر و کاهش محتوای پتاسیم نسبت دادند، وضعیتی که به دلیل رقابت متقابل سدیم برای جذب، فتوسنتز را کاهش می‌دهد. شوری خاک از برداشتن آب از خاک توسط گیاه جلوگیری می‌کند، در نتیجه آب سلولی کاهش می‌یابد و بر تورژسانس سلولی اثر می‌گذارد. شوری خاک همچنین بر فعالیت فتوسنتز در گیاه تأثیر منفی می‌گذارد و تولید گونه‌های فعال اکسیژن را تحریک می‌کند، بنابراین رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Shahid *et al.*, 2020). تنش اسمزی اولین تنش است که یک گیاه در معرض خاک شور با آن مواجه شده و بلافاصله بر رشد گیاه اثر می‌گذارد (Liang *et al.*, 2018). یکی از اثرات

$$\text{وزن خشک} - \text{وزن تر} = \frac{\text{محتوای آب اندام هوایی}}{\text{وزن تر}} \times 100$$

یا ریشه (درصد)

و برای تعیین رطوبت از رابطه:

$$\text{رطوبت (گرم)} = \text{وزن خشک} / \text{وزن تر}$$

استفاده شد.

برای تعیین نشت الکترولیت (EL) ده قطعه برگ تازه (طول ۰/۵ سانتی‌متر) از هر نمونه جدا شد و سه بار با آب دیونیزه شسته شدند تا الکترولیت‌های چسبیده به سطح حذف شوند. قطعات برگ در لوله‌های دربسته حاوی ۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه قرار داده شدند و در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. پس از آن، هدایت الکتریکی اولیه محلول (EC1) با استفاده از یک EC متر (CONSORT C933) تعیین شد. سپس نمونه‌ها در حمام آب در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه انکوبه شدند تا تمام الکترولیت‌ها آزاد شوند، سپس تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خنک شدند و هدایت الکتریکی نهایی آنها (EC2) اندازه‌گیری شد. نشت الکترولیت (EL) از رابطه زیر محاسبه گردید:

نشت الکترولیت (EL) از رابطه:

$$EL (\%) = (EC1/EC2) \times 100$$

محاسبه گردید (Hnilickova *et al.*, 2019).

غلظت عناصر در ۰/۵ گرم پودر خشک آسیاب شده نمونه برگ و ریشه توسط دستگاه ICP-OES (Genesis Spectro, Company، آلمان) تعیین شد. برای تعیین فاکتور انتقال هر عنصر از رابطه:

فاکتور انتقال = مقدار عنصر در ریشه / مقدار عنصر در اندام هوایی

استفاده شد. برای تعیین فاکتور تجمع زیستی هر عنصر از رابطه:

فاکتور تجمع زیستی = مقدار عنصر در خاک / مقدار عنصر در ریشه استفاده شد (Pachura *et al.*, 2016).

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. داده‌ها بر اساس روش GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۸، SAS Institute Inc., Cary, NC, United States) تجزیه و تحلیل شدند. برای تعیین تفاوت

جدول ۱- وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت وزن تر ریشه به اندام هوایی، محتوای آب اندام هوایی، محتوای آب ریشه، رطوبت اندام هوایی و رطوبت ریشه گیاهچه‌های *Puccinellia distans* در شرایط شوری (SC) و شرایط کنترل (NSC) در معرض محلول‌پاشی برگ‌های محرک‌های زیستی

نسبت وزن تر ریشه به اندام هوایی		وزن تر ریشه (گرم)		وزن تر اندام هوایی (گرم)		تیمارها
SC	NSC	SC	NSC	SC	NSC	
۰/۵۶±۰/۰۰۸ ^a	۰/۳۵±۰/۰۰۱ ^e	۴/۶۰±۰/۰۴ ^f	۵/۲۲±۰/۰۱ ^e	۸/۲۰±۰/۰۵ ^e	۱۴/۶۰±۰/۴ ^c	شاهد
۰/۳۹±۰/۰۰۷ ^d	۰/۴۱±۰/۰۰۳ ^c	۵/۳۴±۰/۰۷ ^d	۶/۶۰±۰/۰۷ ^b	۱۳/۴۲±۰/۰۸ ^d	۱۵/۸±۰/۱۰ ^b	آلگابن
۰/۳۹±۰/۰۱۱ ^d	۰/۵۳±۰/۰۰۴ ^b	۶/۳۲±۰/۰۲ ^c	۹/۴۷±۰/۰۶ ^a	۱۵/۸۶±۰/۵۱ ^b	۱۷/۷±۰/۰۹ ^a	بنامید
رطوبت اندام هوایی (گرم)		محتوای آب ریشه (درصد)		محتوای آب اندام هوایی (درصد)		تیمارها
SC	NSC	SC	NSC	SC	NSC	
۵/۹۴±۰/۳۴ ^b	۵/۳۱±۰/۰۷ ^c	۸۵/۱۷±۱/۵۹ ^a	۸۳/۷۳±۰/۹۸ ^{ab}	۸۳/۱۳±۰/۹۴ ^b	۸۱/۱۶±۰/۲۷ ^c	شاهد
۶/۲۴±۰/۱۳ ^b	۵/۳۵±۰/۰۷ ^c	۸۵/۳۴±۱/۴۴ ^a	۸۲/۵۸±۰/۵۶ ^b	۸۳/۹۸±۰/۳۴ ^{ab}	۸۱/۳۲±۰/۲۷ ^c	آلگابن
۶/۶۱±۰/۲۸ ^a	۵/۳۹±۰/۱۵ ^c	۸۴/۹۷±۰/۸۰ ^a	۷۷/۸۲±۱/۰۷ ^c	۸۴/۸۶±۰/۶۵ ^a	۸۱/۴۴±۰/۵۳ ^c	بنامید
وزن خشک ریشه (گرم)		وزن خشک اندام هوایی (گرم)		رطوبت ریشه (گرم)		تیمارها
SC	NSC	SC	NSC	SC	NSC	
۰/۶۸±۰/۰۰۷ ^e	۰/۸۵±۰/۰۰۵ ^{cd}	۱/۳۸±۰/۰۰۷ ^f	۲/۷۵±۰/۰۰۴ ^c	۶/۷۹±۰/۰۷۵ ^a	۶/۱۶±۰/۳۷ ^{ab}	شاهد
۰/۷۸±۰/۰۰۷ ^{de}	۱/۱۵±۰/۰۰۴ ^b	۲/۱۵±۰/۰۰۵ ^e	۲/۹۵±۰/۰۰۵ ^b	۶/۸۷±۰/۰۷۱ ^a	۵/۷۴±۰/۱۸ ^b	آلگابن
۰/۹۵±۰/۰۰۵ ^c	۲/۱±۰/۱۰ ^a	۲/۴±۰/۰۰۵ ^d	۳/۲۸±۰/۰۰۷ ^a	۶/۶۶±۰/۳۵ ^a	۴/۵۱±۰/۲۲ ^c	بنامید

حروف مختلف براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد ($P \leq 0.05$).

در مقایسه با تیمار محرک زیستی آلگابن و گیاهان شاهد در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl بیشتر بود و در کل پیش‌تیمار با محرک زیستی بنامید سبب حفظ رطوبت در اندام هوایی و ریشه و به‌دنبال آن مانع کاهش رشد ناشی از NaCl شد (جدول ۱).

مطالعات پیشین اثر مثبت محرک‌های زیستی بر رشد گیاه را در طیف وسیعی از ترکیبات مانند عصاره جلبک دریایی، پروتئین‌های هیدرولیز شده و اسیدهای هیومیک تحت شرایط تنش گزارش کرده‌اند (Lucini et al., 2015; Latef et al., 2017; Saidimoradi et al., 2019). استفاده از محرک زیستی مشتق شده از عصاره جلبک دریایی و پروتئین هیدرولیز شده ممکن است پاسخ‌های دفاعی را در مقابل تنش شوری در گیاهان تأمین کند. Latef و همکاران (۲۰۱۷) پیشنهاد کردند که محلول‌پاشی دو عصاره جلبک دریایی *Sargassum muticum* (Sar) و *Jania rubens* (Jan) رشد گیاه و رنگدانه‌های

اولیه شوری بر روی گیاهان، ممانعت از رشد اندام هوایی و ریشه گیاهان است. اثرات شوری بر تغییر رشد ممکن است به تغییرات در جذب آب و یون توسط ریشه، تولید پیام‌های هورمونی که پیام‌ها را به بخش هوایی ارسال می‌کنند و تغییر در الگوهای بیان ژن نسبت داده شود. بطور معمول، زمانی که گل‌کوفیت‌ها در معرض تنش شوری قرار می‌گیرند، رشد اندام هوایی بیشتر از ریشه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد که منجر به افزایش نسبت ریشه به ساقه می‌شود (Kravchik and Bernstein, 2013). با این حال، پاسخ رشد ریشه ناشی از شوری در گیاهان شورزی ممکن است متفاوت باشد (Flowers and Colmer, 2008).

نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش در محتوای آب گیاهان کنترل پیش‌تیمار شده با بنامید وجود داشت. وزن تر ریشه و اندام هوایی گیاهان اسپری شده با محرک زیستی بنامید

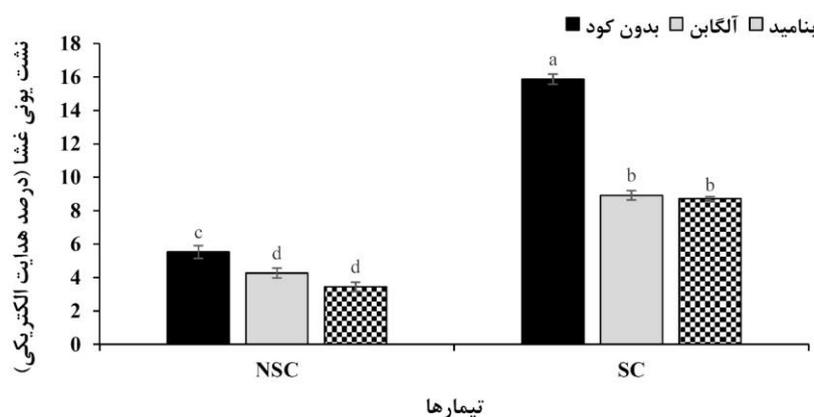
نسبت به شاهد افزایش داد. در شرایط شاهد، نشت یونی غشاء تحت تأثیر محرک زیستی آلگابن و محرک زیستی بنامید به- ترتیب ۲۲/۱۴ و ۳۶/۵۴ درصد کاهش یافت. پیش‌تیمار با محرک‌های زیستی آلگابن و بنامید نشت یونی غشاء را در اندام هوایی به‌ترتیب، به میزان ۴۳ و ۴۵ درصد نسبت به شاهد شوری کاهش دادند. تفاوت داده‌ها در تمام تیمارها معنی‌دار بود (شکل ۱).

با توجه به داده‌های بدست آمده از نشت یونی غشاء (شکل ۱)، به وضوح می‌توان دید که تنش شوری با نمک ۳۰۰ میلی‌مولار، غشاء را تحت تأثیر قرار داده است. غشاء پلاسمایی محل اولیه آسیب یون‌های نمک هستند (Mansour and Salama, 2004). بنابراین، نشت الکترولیت از غشاهای پلاسمایی به‌عنوان یکی از مهمترین معیارهای انتخاب برای شناسایی گیاهان مقاوم به نمک گزارش شده است (Ashraf and Ali, 2008). با توجه به بهبود جذب یون‌ها توسط محرک‌های زیستی (جدول ۱)، کاهش معنی‌دار در نشت یونی غشاء با تأثیر پیش‌تیمار محلول‌پاشی با محرک‌های زیستی آلگابن و بنامید در ارتباط است. محرک‌های زیستی قادرند برخی از فرآیندهای مولکولی را تغییر دهند که با حمایت از وضعیت بهتر آب و افزایش زیست‌توده خشک، محتوای کلروفیل و غلظت نیترات، افزایش آنزیم‌های مهارکننده ROS، افزایش عوامل اسمزی درون‌زا، کاهش نشت غشاء و تأثیرگذاری بر هورمون‌های گیاهی، تحمل گیاه به شوری را بهبود می‌بخشند (Bulgari et al., 2019a). Taha و همکاران (۲۰۲۰) با محلول‌پاشی نوعی محرک زیستی (Palm pollen Grains Extract) روی گیاه *Ocimum basilicum* در شرایط تنش خشکی، توانستند محتوای نسبی آب و راندمان مصرف آب را بالا برده و نشت غشاء را کمتر کنند. محرک زیستی حاوی متابولیت‌های تخمیر، آسیب ناشی از نشت الکترولیت بافت برگ *Arabidopsis thaliana* را که در معرض شرایط خشکسالی قرار گرفته بود را کاهش داد (Blaszczak et al., 2015). استفاده از محرک زیستی نوعی عصاره برگی بصورت محلول‌پاشی روی گندم، با تثبیت یکپارچگی غشاء و کاهش

فتوستتزی *Cicer arietinum* را در شرایط خاک شور بهبود بخشید. همچنین، عصاره‌های آگروپلی ساکارید از *Dunaliella salina* تنش شوری را کاهش داد و کاهش وزن خشک اندام هوایی و سیستم ریشه گیاه را در *Solanum lycopersicum* کاهش داد (Arroussi et al., 2018; Lucini et al., 2015). همچنین Colla و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که محلول پاشی با LISIVEG® (پروتئین هیدرولیزشده از گیاه) باعث افزایش عملکرد محصول تازه، زیست‌توده خشک و وزن خشک ریشه *Lactuca sativa* می‌شود که در شرایط شوری رشد کرده است. این محرک زیستی مشتق از پروتئین هیدرولیز شده، از طریق تعدیل فرآیندهای مولکولی و فیزیولوژیکی گیاه، نقش مهمی در تحریک رشد، افزایش عملکرد و کاهش تأثیر تنش شوری بر محصولات دارد. محرک‌های زیستی مشتق از پروتئین های هیدرولیزشده با القای متابولیسم کربن و نیتروژن و همچنین تنظیم جذب نیتروژن و با تداخل در فعالیت‌های هورمونی، مستقیماً بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارند که منجر به تحریک رشد ریشه و اندام هوایی و در نتیجه بهره‌وری محصول می‌شوند.

اصلاح تراکم ریشه در گیاهان تیمارشده با پروتئین هیدرولیزشده ممکن است برای بهبود کارایی جذب آب و مواد مغذی، در نتیجه ارتقای تولید محصول نقش داشته باشد (Colla et al., 2015). همچنین Subbarao و همکاران (۲۰۱۵) اثر مثبت پروتئین هیدرولیزشده را بر افزایش رشد ریشه و اندام هوایی نشان داد و دریافت که استفاده آن‌ها در خاک مؤثرتر از محلول‌پاشی است. نتایج مشابهی توسط Popko و همکاران (۲۰۱۸) بدست آمد که کاربرد محلول‌پاشی محرک‌های زیستی مبتنی بر اسیدهای آمینه را برای تولید کشاورزی کارآمد گندم زمستانی توصیه کردند. در این مطالعه، اثر ارتقاء رشد بواسطه پیش‌تیمار بنامید بر گیاهچه‌های *P. distans* تحت تنش شوری به سادگی با زیست‌توده و تراکم بیشتر ریشه‌ها توضیح داده شد که منجر به افزایش راندمان جذب آب و مواد مغذی شد.

اثر محلول‌پاشی محرک‌های زیستی بر نشت یونی غشاء در شرایط تنش شوری: براساس نتایج، شوری نشت یونی غشاء را در اندام هوایی گیاهچه‌های *P. distans* به میزان ۲/۸۱ برابر



شکل ۱- نشست یونی غشاء در شرایط شوری (SC) و شرایط کنترل (NSC) در *Puccinellia distans* در معرض محلول‌پاشی با محرک‌های زیستی. حروف مختلف براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد ($P \leq 0.05$).

نسبت به شاهد کنترل معنی‌دار بود. سدیم اندام هوایی و ریشه با تیمار شوری افزایش معنی‌داری را نشان داد. اثر محرک زیستی آلگابن و محرک زیستی بنامید بر همه عناصر پرمصرف فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در مقایسه با شاهد کنترل و شوری، سبب افزایش عنصر شده و بیشترین تأثیر مربوط به محرک زیستی بنامید بود. پیش‌تیمار محرک‌های زیستی توانستند میزان سدیم اندام هوایی و ریشه را بطور معنی‌داری کاهش دهند که دلیل محکمی بر کاهش تنش شوری ناشی از حضور سدیم در بافت گیاه است. افزایش معنی‌دار فاکتور انتقال پتاسیم، کلسیم و سدیم نسبت به شاهد کنترل، مربوط به کاهش این عناصر در ریشه در شرایط تنش شوری است و پیش‌تیمار با محرک‌های زیستی فاکتور انتقال آنها را بطور معنی‌داری کاهش داد که با توجه به نتایج، مربوط به افزایش جذب این عناصر توسط ریشه یا انتقال عناصر به اندام هوایی تحت تأثیر محرک‌های زیستی است (جدول ۳).

تنش غیرزیستی در دسترس‌بودن و انتقال مواد مغذی را تغییر می‌دهد، بنابراین تغییرات عظیمی در رشد گیاه ایجاد می‌کند. گیاهان تحت تنش شوری دچار کمبود مواد پرمصرف و کم‌مصرف می‌شوند. با این حال، میزان تأثیر شوری براساس نوع گیاه، شرایط رشد و غلظت مواد مغذی تعیین می‌شود (Shrivastava and Kumar, 2015). به خطر افتادن دسترسی به مواد مغذی در تنش شوری باعث اختلالات متعددی از

نشست الکترولیت، تحمل تنش اسمزی را بهبود بخشید (ur Rehman et al., 2021).

اثر محلول‌پاشی محرک‌های زیستی بر عناصر کم‌مصرف و پرمصرف اندام هوایی و ریشه و فاکتور انتقال آنها در شرایط تنش شوری، کم‌مصرف‌ها: براساس نتایج بدست آمده، تنش شوری سبب کاهش عناصر کم‌مصرف آهن، مس، روی، منگنز و مولیبدن اندام هوایی و ریشه گیاهچه‌های پوکسینلیا شد که در این میان تنها کاهش آهن، منگنز و مولیبدن ریشه نسبت به شاهد کنترل معنی‌دار بود. تأثیر محرک زیستی آلگابن و محرک زیستی بنامید بر همه عناصر کم‌مصرف در مقایسه با شاهد کنترل و شوری، سبب افزایش عنصر شده و بیشترین تأثیر مربوط به محرک زیستی بنامید بود. افزایش معنی‌دار فاکتور انتقال آهن، منگنز و مولیبدن نسبت به شاهد کنترل، مربوط به کاهش میزان این عناصر در ریشه در شرایط تنش شوری است و پیش‌تیمار با محرک‌های زیستی فاکتور انتقال آنها را بطور معنی‌داری کاهش داد که با توجه به نتایج، مربوط به افزایش جذب این عناصر توسط ریشه تحت تأثیر محرک‌های زیستی است (جدول ۲ و ۳).

پرمصرف‌ها: با توجه به داده‌های جدول ۲، تیمار شوری سبب کاهش فسفر، کلسیم و منیزیم اندام هوایی و کاهش فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم ریشه شد که در این میان تنها کاهش منیزیم اندام هوایی و پتاسیم، کلسیم و منیزیم ریشه

جدول ۲- عناصر کم مصرف و پرمصرف اندام هوایی و ریشه در شرایط کنترل (NSC) و شرایط شوری (SC) در *Puccinellia distans* در معرض محلول پاشی با محرک‌های زیستی

کلسیم ریشه (mg/g)		کلسیم اندام هوایی (mg/g)		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۵/۷۲±۰/۰۸ ^f	۷/۱۰±۰/۰۷ ^e	۱۰/۵۵±۰/۶۸ ^c	۱۱/۱۹±۰/۹۸ ^{bc}	شاهد
۷/۷۸±۰/۰۸ ^d	۹/۰۶±۰/۱۲ ^c	۱۳/۴۷±۰/۹۱ ^a	۱۲/۳۹±۱/۱۷ ^{ab}	آلگابن
۹/۵۴±۰/۱۹ ^b	۹/۹۱±۰/۱۴ ^a	۱۳/۵۲±۰/۷۰ ^a	۱۳/۳۶±۰/۹۸ ^a	بنامید
مس ریشه (mg/g)		مس اندام هوایی (mg/g)		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۰/۰۰۶±۰/۰۰۰ ^d	۰/۰۰۷±۰/۰۰۰ ^{bcd}	۰/۰۰۵±۰/۰۰۰ ^b	۰/۰۱۰±۰/۰۰۰ ^{ab}	شاهد
۰/۰۰۶±۰/۰۰۰ ^{cd}	۰/۰۰۸±۰/۰۰۰ ^{abc}	۰/۰۱۱±۰/۰۰۱ ^a	۰/۰۱۱±۰/۰۰۱ ^a	آلگابن
۰/۰۰۹±۰/۰۰۰ ^{ab}	۰/۰۰۹±۰/۰۰۰ ^a	۰/۰۱۱±۰/۰۰۰ ^a	۰/۰۱۲±۰/۰۰۰ ^a	بنامید
آهن ریشه (mg/g)		آهن اندام هوایی (mg/g)		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۰/۹۰۳±۰/۱۱ ^c	۱/۵۴۴±۰/۰۵ ^b	۰/۱۶۳±۰/۰۱۹ ^b	۰/۱۸۳±۰/۰۱۷ ^{ab}	شاهد
۱/۵۱۳±۰/۰۶ ^b	۱/۷۴۴±۰/۱۰ ^a	۰/۱۷۴±۰/۰۱۱ ^b	۰/۱۹۱±۰/۰۱۸ ^{ab}	آلگابن
۱/۷۸۶±۰/۰۲ ^a	۱/۷۸۶±۰/۰۲ ^a	۰/۱۷۶±۰/۰۱۰ ^b	۰/۲۱۰±۰/۰۱۵ ^a	بنامید
پتاسیم ریشه (mg/g)		پتاسیم اندام هوایی (mg/g)		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۱۶/۶۰±۱/۱۷ ^e	۲۰/۰۴±۰/۹۹ ^d	۴۲/۳۰±۰/۹۱ ^b	۳۳/۴۶±۱/۹۱ ^d	شاهد
۲۴/۱۲±۰/۹۵ ^c	۳۰/۳۷±۰/۷۵ ^b	۴۲/۷۱±۱/۱۲ ^b	۳۶/۲۲±۱/۰۱ ^c	آلگابن
۲۴/۵۸±۱/۱۸ ^c	۳۵/۶۰±۰/۸۵ ^a	۴۶/۱۳±۰/۹۵ ^a	۴۳/۵۰±۰/۹۶ ^b	بنامید
منیزیم ریشه (mg/g)		منیزیم اندام هوایی (mg/g)		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۴/۱۰±۰/۰۹ ^c	۴/۴۵±۰/۰۸ ^b	۴/۱۵±۰/۰۴ ^c	۴/۶۶±۰/۰۶ ^{ab}	شاهد
۴/۴۷±۰/۰۳ ^b	۴/۵۷±۰/۰۷ ^{ab}	۴/۵۲±۰/۱۸ ^b	۴/۷۸±۰/۲۳ ^a	آلگابن
۴/۶۴±۰/۱۱ ^a	۴/۶۵±۰/۰۴ ^a	۴/۷۶±۰/۱۳ ^{ab}	۴/۸۳±۰/۱۰ ^a	بنامید
منگنز ریشه (mg/g)		منگنز اندام هوایی (mg/g)		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۰/۱۳۳±۰/۰۰۸ ^e	۰/۲۲۲±۰/۰۰۹ ^{bc}	۰/۲۹۲±۰/۰۰۹ ^b	۰/۳۰۶±۰/۰۳۵ ^b	شاهد
۰/۱۶۵±۰/۰۳۱ ^{de}	۰/۲۳۹±۰/۰۰۶ ^b	۰/۳۱۱±۰/۰۳۹ ^b	۰/۳۴۸±۰/۰۴۶ ^{ab}	آلگابن
۰/۱۸۳±۰/۰۳۰ ^{cd}	۰/۲۹۵±۰/۰۳۵ ^a	۰/۳۹۶±۰/۰۳۶ ^a	۰/۳۹۷±۰/۰۴۶ ^a	بنامید

حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بر اساس تست‌های LSD هستند ($P \leq 0.05$).

می‌شود (Yarsi et al., 2017). همچنین حلالیت عناصر کم-مصرف مانند مس، آهن، منگنز، مولیبدن و روی تحت تأثیر

جمله جذب رقابتی با یون‌های دیگر مانند کلسیم، فسفر و پتاسیم، مشکلات جابجایی عناصر در گیاه و کاهش پتانسیل آب

ادامه جدول ۲-

مولیدن ریشه (mg/g)		مولیدن اندام هوایی (mg/g)		تیمارها
SC	NSC	SC	NSC	
۰/۰۳۱±۰/۰۰۳ ^b	۰/۰۴۵±۰/۰۰۰ ^a	۰/۰۵۱±۰/۰۰۴ ^b	۰/۰۵۷±۰/۰۰۴ ^{ab}	شاهد
۰/۰۴۴±۰/۰۰۴ ^a	۰/۰۴۷±۰/۰۰۳ ^a	۰/۰۵۲±۰/۰۰۳ ^b	۰/۰۵۹±۰/۰۰۳ ^a	آلگابن
۰/۰۴۷±۰/۰۰۳ ^a	۰/۰۴۹±۰/۰۰۴ ^a	۰/۰۵۴±۰/۰۰۳ ^{ab}	۰/۰۶۰±۰/۰۰۵ ^a	بنامید
فسفر ریشه (mg/g)		فسفر اندام هوایی (mg/g)		تیمارها
SC	NSC	SC	NSC	
۷/۶۰±۰/۳۰۵ ^c	۷/۹۴±۰/۱۸۵ ^c	۶/۰۳±۰/۲۲۵ ^c	۶/۳۵±۰/۲۰۴ ^c	شاهد
۸/۳۸±۱/۰۱۲ ^c	۱۰/۶۷±۰/۸۹۹ ^b	۷/۴۶±۰/۱۴۷ ^b	۷/۱۹±۰/۱۷۰ ^b	آلگابن
۱۲/۲۸±۱/۰۳۵ ^b	۱۴/۲۵±۰/۲۰۵۴ ^a	۸/۳۶±۰/۳۳۰ ^a	۸/۷۳±۰/۲۱۹ ^a	بنامید
سدیم ریشه (mg/g)		سدیم بخش هوایی (mg/g)		تیمارها
SC	NSC	SC	NSC	
۱۰/۲۳±۰/۰۹۹ ^a	۷/۲۲±۰/۱۰۲ ^c	۱۰/۶۲±۰/۱۰۶ ^a	۵/۳۴±۰/۱۰۰ ^e	شاهد
۹/۲۵±۰/۱۰۰ ^b	۶/۵۲±۰/۱۰۳ ^d	۹/۴۳±۰/۱۱۳ ^b	۵/۳۴±۰/۱۰۱ ^e	آلگابن
۹/۲۴±۰/۰۹۸ ^b	۵/۱۴±۰/۰۹۱ ^e	۹/۲۳±۰/۱۰۰ ^c	۶/۳۸±۰/۱۰۰ ^d	بنامید
روی ریشه (mg/g)		روی اندام هوایی (mg/g)		تیمارها
SC	NSC	SC	NSC	
۰/۰۶۶±۰/۰۰۶ ^b	۰/۰۸۸±۰/۰۰۸ ^b	۰/۰۳۴±۰/۰۰۵ ^d	۰/۰۵۳±۰/۰۰۸ ^c	شاهد
۰/۰۶۷±۰/۰۱۲ ^b	۰/۱۲۳±۰/۰۲۲ ^a	۰/۰۸۰±۰/۰۰۵ ^b	۰/۰۹۱±۰/۰۰۶ ^{ab}	آلگابن
۰/۰۷۰±۰/۰۱۵ ^b	۰/۱۳۵±۰/۰۱۰ ^a	۰/۰۸۳±۰/۰۰۸ ^b	۰/۰۹۳±۰/۰۱۰ ^a	بنامید

حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بر اساس تست‌های LSD هستند ($P \leq 0.05$).

هیدرولیز شده نشان داده است که، جذب و بهره‌وری استفاده از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف را افزایش می‌دهد (Colla et al., 2015). هنگامی که در توت‌فرنگی عصاره *A.nodosum* همراه با کودهای معمولی استفاده شد، سطح بیومس کل گیاه افزایش یافت (Spinelli et al., 2010). در میوه گوجه‌فرنگی این عصاره باعث افزایش غلظت نیتروژن فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم، مس، آهن و روی شد (Ali et al., 2016). انواع دیگر محرک‌های زیستی نیز بر سطح مواد مغذی محصول تأثیر می‌گذارند. پروتئین هیدرولیز شده جذب مواد مغذی را در چندین محصول از جمله: محتوای نیتروژن برگ در گوجه‌فرنگی (Colla et al., 2014)، نیتروژن برگ و فسفر در کاهو (Lucini et al., 2015) و نیتروژن برگ در ذرت و کاهو

pH محلول خاک است و در شرایط شور دسترسی به آنها بسیار کم است (Bulgari et al., 2019b). گیاهان شورزی برای تحمل و ادامه رشد در محیط شور، از راهکارهای مورفوفیزیولوژیکی مختلفی استفاده می‌کنند مانند؛ دوری از نمک، دفع نمک از طریق اندام‌های تخصصی مانند غدد نمکی و/یا کیسه‌های نمکی (salt bladders) و رقیق کردن یون‌های نمک با گوشتی شدن (succulence) (Rahman et al., 2021). گیاه شورزی *Portulaca oleracea* L. قادر به رشد در خاکی با شوری بالا است و قادر به حذف یون‌ها است. تنش شوری بر جذب عناصر غذایی در برگ و خاک تأثیر می‌گذارد (Bekmirzaev et al., 2021). کاربردهای محلول‌پاشی و افزودن به ریشه محرک‌های زیستی مشتق از پروتئین‌های

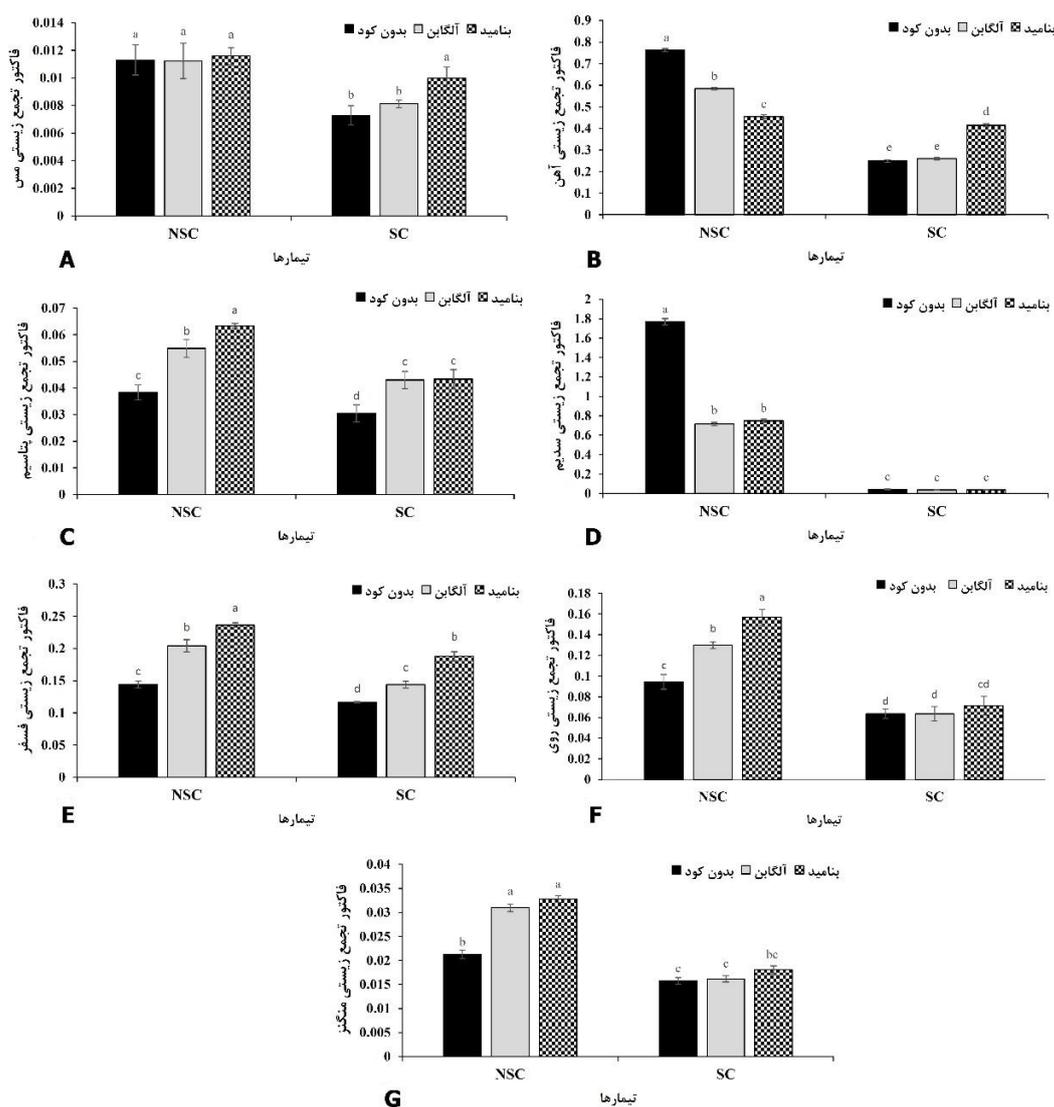
جدول ۳- فاکتور انتقال عناصر کم مصرف و پرمصرف و در شرایط کنترل (NSC) و شرایط شوری (SC) در *Puccinellia distans* در معرض محلول پاشی با محرک های زیستی

فاکتور انتقال مس		فاکتور انتقال کلسیم		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۰/۸۵±۰/۰۴۷ ^d	۱/۳۹±۰/۰۲۳ ^{bc}	۱/۸۴±۰/۱۰ ^a	۱/۵۴±۰/۱۰ ^{bc}	شاهد
۱/۳۵±۰/۰۳۱ ^c	۱/۴۳±۰/۰۳۰ ^{ab}	۱/۷۲±۰/۱۳ ^{ab}	۱/۳۶±۰/۰۹ ^c	آلگابن
۱/۳۵±۰/۰۳۶ ^c	۱/۴۵±۰/۰۲۹ ^a	۱/۴۱±۰/۰۹ ^c	۱/۳۶±۰/۱۱ ^c	بنامید
فاکتور انتقال پتاسیم		فاکتور انتقال آهن		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۲/۴۸±۰/۰۲۸ ^a	۱/۶۳±۰/۰۵۴ ^d	۰/۱۸۱±۰/۰۰۶ ^a	۰/۱۱۹±۰/۰۰۵ ^b	شاهد
۱/۷۴±۰/۰۷۴ ^c	۱/۱۹±۰/۰۰۶ ^e	۰/۱۱۲±۰/۰۰۷ ^{bc}	۰/۱۰۹±۰/۰۰۴ ^{bc}	آلگابن
۱/۸۷±۰/۰۵۳ ^b	۱/۲۲±۰/۰۰۲ ^e	۰/۱۰۳±۰/۰۰۶ ^b	۰/۱۱۷±۰/۰۰۹ ^b	بنامید
فاکتور انتقال منگنز		فاکتور انتقال منیزیم		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۲/۴۵±۰/۰۲۸ ^a	۱/۴۴±۰/۰۳۴ ^e	۱/۴۲±۰/۰۰۵ ^a	۱/۰۴۶±۰/۰۰۸ ^a	شاهد
۱/۶۱۸±۰/۰۲۱ ^c	۱/۴۵±۰/۰۴۴ ^e	۱/۰۳۶±۰/۰۰۷ ^a	۱/۰۴۷±۰/۰۱۰ ^a	آلگابن
۲/۳۴±۰/۰۱۴ ^b	۱/۵۴±۰/۰۱۹ ^d	۱/۰۴۰±۰/۰۰۷ ^a	۱/۰۴۴±۰/۰۱۰ ^a	بنامید
فاکتور انتقال فسفر		فاکتور انتقال مولیبدن		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۰/۷۹۳±۰/۰۰۳ ^{ab}	۰/۷۹۹±۰/۰۰۷ ^{ab}	۱/۶۵۲±۰/۰۰۳ ^a	۱/۳۵۲±۰/۰۱۳ ^b	شاهد
۰/۸۳۵±۰/۰۰۶ ^a	۰/۶۷۶±۰/۰۵۶ ^{bc}	۱/۱۶۴±۰/۰۱۲ ^d	۱/۲۶۷±۰/۰۰۸ ^c	آلگابن
۰/۶۸۴±۰/۰۰۷ ^{bc}	۰/۵۸۷±۰/۰۳۴ ^c	۱/۲۳۱±۰/۰۲۰ ^{cd}	۱/۳۴۴±۰/۰۰۸ ^b	بنامید
فاکتور انتقال روی		فاکتور انتقال سدیم		تیماها
SC	NSC	SC	NSC	
۰/۵۴±۰/۰۱۶ ^c	۰/۴۵±۰/۰۱۳ ^d	۱/۰۳۷±۰/۰۰۰ ^b	۰/۷۳۹±۰/۰۰۳ ^e	شاهد
۱/۰۵۴±۰/۰۰۹ ^a	۰/۶۷۶±۰/۰۰۵ ^b	۱/۰۲۰±۰/۰۰۱ ^b	۰/۸۱۸±۰/۰۰۲ ^d	آلگابن
۱/۰۳۳±۰/۰۱۱ ^a	۰/۶۶۵±۰/۰۰۴ ^b	۰/۹۹۸±۰/۰۰۰ ^c	۱/۲۴۱±۰/۰۰۲ ^a	بنامید

حروف مختلف نشان دهنده تفاوت های معنی دار بر اساس تست های LSD هستند ($P \leq 0.05$).

(*al.*, 2015). تیمار گیاه فلفل (*Capsicum annuum* L. cv.) با اسید هیومیک و فسفر، منجر به کاهش سدیم و افزایش عناصر N, P, K, Ca, Fe, Mg, S, Mn و Cu در ریشه و شاخه های گیاهانی می شود که تحت تنش شوری خفیف بودند (*Cimrin et al.*, 2010). استفاده از برخی اسیدهای آمینه (مانند پرولین) با اتصال به فلزات، ممکن است از گیاهان در

(*Planques et al.*, 2012) افزایش داد. جذب پرمصرف ها توسط عصاره جلبک دریایی *K.alvarezii* در سویا، ارتباط مستقیمی بین میزان مصرف محرک زیستی و افزایش غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد را در دانه نشان داد (*Rathore et al.*, 2009). عصاره *A.nodosum* همراه با روی، غلظت کم- مصرف ها را در بافت آوندی آفتابگردان افزایش داد (*Tian et*



شکل ۲- میزان تجمع زیستی عنصر مس (A)، آهن (B)، پتاسیم (C)، سدیم (D)، فسفر (E)، روی (F) و منگنز (G) در شرایط کنترل (NSC) و شرایط شوری (SC) در *Puccinellia distans* در معرض محلول‌پاشی محرک‌های زیستی. حروف مختلف براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد ($P \leq 0.05$).

بررسی بیشتر اثر شوری بر جذب یون، شاخص فاکتور تجمع چند عنصر که نسبتی از میزان عنصر در ریشه گیاه به میزان آن عنصر در خاک اطراف ریشه است، بررسی شد (شکل ۲). داده‌ها نشان داد که تحت تیمار شوری، کاهش معنی‌دار فاکتور تجمع نسبت به شاهد در شرایط کنترل عناصر مورد مطالعه بصورت زیر است:

فسفر > پتاسیم > منگنز > روی > مس > آهن > سدیم
 که از میان اینها، بیشترین تأثیر شوری بر جذب عنصر

برابر فلزات سنگین محافظت کنند و در تحرک و جذب عناصر کم‌مصرف نیز مؤثر باشند (du Jardin, 2012). همچنین تأثیر نوعی محرک زیستی جلبکی در شرایط تنش شوری بر گیاه گوجه‌فرنگی سبب افزایش رشد رویشی اندام هوایی و ریشه، هم‌وستازی یونی، جذب بیشتر پتاسیم، فسفر و نیتروژن و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی برگ گردید (Mutale-joan et al., 2021).

اثر محلول‌پاشی محرک‌های زیستی بر فاکتور تجمع برخی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در شرایط تنش شوری: برای

جدول ۴- تجزیه واریانس (مقادیر میانگین مربعات) تأثیر محرک زیستی و شوری بر شاخص‌های مختلف در گیاه پوکسینلیا

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر		وزن خشک		نسبت وزن تر ریشه به اندام هوایی
		ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	
محرک زیستی	۲	۴۳/۹۸*	۰/۹۱*	۱۳/۶۹*	۰/۹۲*	۰/۰۰۶۱*
شوری	۱	۵۶/۲۱*	۴/۶۵*	۱۲/۶۱*	۱/۴۱*	۰/۰۰۱۱*
محرک زیستی × شوری	۲	۹/۳۲*	۰/۱۴*	۲/۵۹*	۰/۴۰*	۰/۰۴۴۷*
خطا	۱۲	۰/۰۴۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۰۰۵۱

* بیانگر معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵ و ns بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

ادامه جدول ۴-

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای آب		رطوبت اندام		درصد هدایت الکتریکی (EC)
		اندام هوایی	ریشه	هوایی	رطوبت ریشه	
محرک زیستی	۲	۱/۵۱۲*	۱۶/۱۵۴*	۰/۲۱۳*	۱/۳۳۱*	۳۸/۳۹*
شوری	۱	۳۲/۳۳۸*	۶۴/۳۵۰*	۳/۷۶۳*	۷/۶۴۳*	۲۰۵/۳۳*
محرک زیستی × شوری	۲	۰/۷۸۰ ^{ns}	۱۳/۴۳۶*	۰/۱۳۰ ^{ns}	۰/۹۰۰ ^{ns}	۱۴/۵۹*
خطا	۱۲	۰/۳۱۳	۱/۲۹۰	۰/۰۴۲	۰/۲۳۸	۰/۹۸۱

* بیانگر معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵ و ns بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

ادامه جدول ۴-

منابع تغییر	درجه آزادی	کلسیم		مس		فاکتور انتقال
		اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	
محرک زیستی	۲	۱۱/۱۱*	۱۶/۲۶*	۰/۰۰۰۰۲۷*	۰/۰۰۰۰۰۸*	۰/۱۴۶*
شوری	۱	۰/۱۸ ^{ns}	۴/۲۴*	۰/۰۰۰۰۱۳*	۰/۰۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۲۶۵*
محرک زیستی × شوری	۲	۱/۰۹ ^{ns}	۰/۵۶*	۰/۰۰۰۰۱۲*	۰/۰۰۰۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۹۹*
خطا	۱۲	۰/۸۵۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۱۴

منابع تغییر	درجه آزادی	آهن		پتاسیم		فاکتور انتقال
		اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	
محرک زیستی	۲	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۴۴۹*	۷۹/۲۳*	۲۲۶/۲۲*	۰/۶۲*
شوری	۱	۰/۰۰۲۵*	۰/۴۷۵*	۱۶۱/۳۴*	۲۱۴/۴۴*	۲/۱۰*
محرک زیستی × شوری	۲	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۱۲۵*	۱۴/۷۴*	۲۱/۹۷*	۰/۰۳*
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۵	۱/۰۲۲	۰/۹۹۶	۰/۰۲۵

* بیانگر معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵ و ns بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

عناصر سدیم، آهن، مس، روی، منگنز، پتاسیم و فسفر شده است. تأثیر پیش‌تیمار محرک‌های زیستی بر فاکتور تجمع که

سدیم و کمترین تأثیر شوری مربوط به عنصر فسفر بود. نتایج فاکتور تجمع تأیید کرد که، تنش شوری باعث کاهش جذب

ادامه جدول ۴-

منابع تغییر	درجه آزادی	منیزیم			منگنز		
		اندام هوایی	ریشه	فاکتور انتقال	اندام هوایی	ریشه	فاکتور انتقال
محرک زیستی	۲	۰/۲۳*	۰/۲۱*	۰/۰۰۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۱۴*	۰/۰۰۵۷*	۰/۳۳۷*
شوری	۱	۰/۳۵*	۰/۱۰*	۰/۰۰۰۳۴ ^{ns}	۰/۰۰۱۳ ^{ns}	۰/۰۳۸*	۱/۹۶*
محرک زیستی × شوری	۲	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۴*	۰/۰۰۰۲۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۲۹*
خطا	۱۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۹
		مولیبدن			سدیم		
		اندام هوایی	ریشه	فاکتور انتقال	اندام هوایی	ریشه	فاکتور انتقال
محرک زیستی	۲	۰/۰۰۰۰۱۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۵*	۰/۱۱۳*	۰/۵۵*	۶/۲۳ ^{ns}	۰/۰۹۵*
شوری	۱	۰/۰۰۰۱۸۹*	۰/۰۰۰۱۹*	۰/۰۰۳*	۷۴/۶۵*	۷۲/۰۸*	۰/۰۳۳*
محرک زیستی × شوری	۲	۰/۰۰۰۰۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۷۰*	۰/۰۸۳*	۲/۲۰*	۱/۳۶ ^{ns}	۰/۱۲۵*
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۰۷	۲/۳۷	۰/۰۰۰۰۰۴۵
		روی			فسفر		
		اندام هوایی	ریشه	فاکتور انتقال	اندام هوایی	ریشه	فاکتور انتقال
محرک زیستی	۲	۰/۰۰۳۸*	۰/۰۰۱۰*	۰/۲۵۸*	۸/۲۹*	۴۶/۳۷*	۰/۰۴۲*
شوری	۱	۰/۰۰۰۹۲*	۰/۰۱۰۳*	۰/۳۴۵*	۰/۰۸ ^{ns}	۱۰/۶۰*	۰/۰۳۱*
محرک زیستی × شوری	۲	۰/۰۰۰۰۳۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۷۴*	۰/۰۴۱*	۰/۱۹*	۱/۶۴ ^{ns}	۰/۰۱۰*
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۵۶	۱/۲۰	۰/۰۱۹

* بیانگر معنی دار بودن در سطح ۰/۰۵ و ns بیانگر عدم اختلاف معنی دار است.

ادامه جدول ۴-

منابع تغییر	درجه آزادی	فاکتور تجمع			فاکتور تجمع		
		تجمع مس	تجمع آهن	پتاسیم	تجمع منگنز	سدیم	فسفر
محرک زیستی	۲	۰/۰۰۰۰۰۳*	۰/۰۲۴*	۰/۰۰۰۵۸*	۰/۰۰۰۰۷۷*	۰/۵۲۳*	۰/۰۰۹۹*
شوری	۱	۰/۰۰۰۰۳۸*	۰/۳۱۳*	۰/۰۰۰۰۷۹*	۰/۰۰۰۰۶۱۲*	۴/۸۴۵*	۰/۰۰۹۲*
محرک زیستی × شوری	۲	۰/۰۰۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۶۲*	۰/۰۰۰۰۰۵*	۰/۰۰۰۰۰۴۲*	۰/۵۳۲*	۰/۰۰۰۴۲*
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۸۱	۰/۰۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۰۰۴۲

* بیانگر معنی دار بودن در سطح ۰/۰۵ و ns بیانگر عدم اختلاف معنی دار است.

این می‌تواند دلیل محکمی بر مؤثر بودن نقش محرک‌های زیستی در کاهش اثرات تنش شوری ناشی از ورود یون سدیم باشد که با میزان کاهش یون سدیم ریشه تحت پیش‌تیمار محرک‌های زیستی مرتبط است. Lucini و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که پروتئین هیدرولیز شده مشتق شده از گیاه، تحمل به

شاخص جذب عنصر از خاک است، همانند نتایج سایر شاخص‌ها با محرک زیستی بنامید هماهنگ بوده و اثر شوری را با جذب معنی دار چند عنصر تا حدودی بهبود بخشید (آهن، فسفر و روی). محرک‌های زیستی در شرایط شوری و کنترل فاکتور تجمع عنصر سدیم را بطور معنی داری کاهش دادند، که

نتیجه‌گیری

یکی از رویکردهای مهم برای بهبود تحمل به تنش شوری در گیاهان، استفاده از محرک‌های زیستی است. با این حال، اثربخشی محرک زیستی به نفوذ آنها به بافت گیاه بستگی دارد. از این‌رو، انتخاب یک محرک زیستی مناسب بسیار مهم است زیرا کارایی می‌تواند بطور قابل‌توجهی بین گونه‌ها متفاوت باشد. در این تحقیق اثرات پیش‌تیمار دو محرک زیستی (محرک زیستی مشتق از عصاره جلبک دریایی و محرک زیستی مشتق از اسیدآمین) بر روی گیاهچه *P. distans* در شرایط تحمل به شوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست‌آمده در مطالعه حاضر نشان‌دهنده اثرات سودمند پیش‌تیمار دو محرک زیستی بر روی گیاهچه‌های *P. distans* در شرایط کنترل به‌دلیل افزایش ماده خشک و جذب یون است. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی بنامید می‌تواند بطور قابل‌توجهی تنش ناشی از NaCl را بر روی گیاهچه‌های *P. distans* کاهش دهد، این اثر به‌دلیل تجمع بیشتر زیست‌توده اندام هوایی، جذب و انتقال املاح و بهبود شرایط غشاء است. با توجه به انجام پیش‌تیمار گیاهچه *P. distans* به‌صورت محلول‌پاشی با محرک زیستی آگابن در غلبه بر تنش شوری، به نظر می‌رسد روش کاربرد یا غلظت پیشنهادی برای این محرک زیستی مناسب نبوده و احتمالاً باید در خاک استفاده شود. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از محرک زیستی بنامید می‌تواند اثرات مضر ناشی از NaCl در گیاهچه‌های *P. distans* را کاهش دهد.

شوری را در گیاهان کاهو بهبود بخشید و عملکرد و وزن خشک را افزایش داد. نتایج مشابهی نیز در گیاهان کاهو در پاسخ به استفاده از یک محرک زیستی آلی تجاری به نام Retrosal® مشاهده شده است (Bulgari et al., 2019a). ترکیبات فعال زیستی موجود در عصاره جلبک دریایی می‌توانند تحمل گیاه را در برابر تنش‌های غیرزیستی بهبود بخشند. دو محرک زیستی مبتنی بر جلبک دریایی حاوی *Ascophyllum nodosum* به نام‌های Super Fifty® و Acadian به ترتیب روی کاهو و توت‌فرنگی استفاده شدند و علیرغم شرایط نامطلوب شوری، با افزایش قابل‌توجهی در عملکرد و وزن خشک ریشه همراه بودند (Bulgari et al., 2019b). در مجموع می‌توان گفت که محرک‌های زیستی فرآیندهای کلی جذب و استفاده از مواد مغذی را افزایش داده و عملکرد گیاه را در شرایط تنش بهبود می‌بخشند (Wozniak et al., 2020).

با بررسی تجزیه واریانس نتایج بدست آمده از تأثیر محرک زیستی، شوری و اثر متقابل محرک زیستی × شوری بر شاخص‌های مختلف می‌توان گفت که؛ شوری و محرک زیستی بر همه شاخص‌های رشد، درصد هدایت الکتریکی، فاکتور انتقال و فاکتور تجمع عناصر کم‌مصرف و پرمصرف (بجز منیزیم) اثر معنی‌دار داشته است و اثر متقابل محرک زیستی × شوری بر محتوای آب اندام هوایی، رطوبت اندام هوایی، رطوبت ریشه، فاکتور انتقال کلسیم و منیزیم معنی‌دار نبود ولی بر سایر شاخص‌های ذکرشده در جدول ۴ اثر معنی‌داری داشت.

منابع

- Abdelhamid, M. T., El-Masry, R. R., Darwish, D. S., Abdalla, M. M., Oba, S., Ragab, R. and Omer, E. (2019) Mechanisms of seed priming involved in salt stress amelioration. In: Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings (eds. Hasanuzzaman, M. and Fotopoulos, V.) Pp. 219-244. Springer. Singapore: Springer Nature.
- Akhani, H. (2006) Biodiversity of halophytic and sabkha ecosystems in Iran. In: Sabkha Ecosystems. Tasks for Vegetation Science (eds. Khan, M. A., Boer, B., Kust, G. S., Barth, H. J.) Pp. 71-88. Netherlands: Dordrecht, Springer.
- Akhzari, D., Adel, S., Mohammad, P. and Hossein, B. (2012) Studying the effects of salinity stress on the growth of various halophytic plant species (*Agropyron elongatum*, *Kochia prostrata* and *Puccinellia distans*). World Applied Sciences Journal 16: 998-1003.
- Ali, N., Aidan, F., Adesh, R. and Jayaraj, J. (2016) The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. Journal of Applied Phycology 28: 1353-62.
- Arif, Y., Priyanka, S., Husna, S., Andrzej, B. and Shamsul, H. (2020) Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry 156: 64-77.

- Arroussi, H. E. L., Benhima, R., Elbaouchi, A., Sijilmassi, B., Mernissi, N. E. L., Aafsar, A., Meftah-Kadmiri, I., Bendaou, N. and Smouni, A. (2018) *Dunaliella salina* exopolysaccharides: A promising biostimulant for salt stress tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum*). Journal of Applied Phycology 30: 2929-41.
- Ashraf, M. and Ali, Q. (2008) Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany 63: 266-73.
- Bekmirzaev, G., Baghdad, O., Jose, B., Mukhamadkhon, K., Yoshiharu, F. and Akifumi, S. (2021) Effects of salinity on the macro-and micronutrient contents of a halophytic plant species (*Portulaca oleracea* L.). Land 10: 481.
- Blaszczak, A. G., Smith, R., Gutierrez, A., Galbraith, D. W., Janda, J., Vanier, C. and Wozniak, E. M. (2015) Molecular mechanism of action for the novel biostimulant CYT31 in plants exposed to drought stress. In: II World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture 1148: 85-92.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P. and Ferrante, A. (2015) Biostimulants and crop responses: A review. Biological Agriculture and Horticulture 31: 1-17.
- Bulgari, R., Franzoni, G. and Ferrante, A. (2019b) Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. Agronomy 9: 306.
- Bulgari, R., Trivellini, A. and Ferrante, A. (2019a) Effects of two doses of organic extract-based biostimulant on greenhouse lettuce grown under increasing NaCl concentrations. Frontiers in Plant Science 9: 1870.
- Cimrin, K. M., Turkmen, O., Turan, M. and Tuncer, B. (2010) Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedling. African Journal of Biotechnology 9: 5845-5851.
- Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R. and Rouphael, Y. (2017) Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. Frontiers in Plant Science 8: 2202.
- Colla, G., Rouphael, Y., Canaguier, R., Svecova, E. and Cardarelli, M. (2014) Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. Frontiers in Plant Science 5: 448.
- Colla, G., Rouphael, Y., Mattia, E. D., Nakhel, Ch. E. and Cardarelli, M. (2015) Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. Journal of the Science of Food and Agriculture 95: 1706-15.
- Desoky, M., Abdel-Rahman, M. M. and Mostafa, M. R. (2018) Natural biostimulants improve saline soil characteristics and salt stressed-sorghum performance. Communications in Soil Science and Plant Analysis 49: 967-83.
- Di Stasio, E., Van Oosten, M. J., Silletti, S., Raimondi, G., dell'Aversana, E., Carillo, P. and Maggio, A. (2018) *Ascophyllum nodosum* based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. Journal of Applied Phycology 30: 2675-86.
- du Jardin, P. (2012) The Science of Plant Biostimulants—A Bibliographic Analysis, Ad hoc Study Report. European Commission.
- Evelin, H., Devi, T. S., Gupta, S. and Kapoor, R. (2019) Mitigation of salinity stress in plants by arbuscular mycorrhizal symbiosis: Current understanding and new challenges. Frontiers in Plant Science 10: 470.
- Flowers, T. J. and Colmer, T. D. (2008) Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist 179: 945-63.
- Flowers, T. J., Munns, R. and Colmer, T. D. (2015) Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. Annals of Botany 115: 419-31.
- Himabindu, Y., Chakradhar, T., Reddy, M. C., Kanygin, A., Redding, K. E. and Chandrasekhar, T. (2016) Salt-tolerant genes from halophytes are potential key players of salt tolerance in glycophytes. Environmental and Experimental Botany 124: 39-63.
- Hnilickova, H., Hnilicka, F., Orsak, M. and Hejnak, V. (2019) Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na⁺ and K⁺ content in selected plant species. Plant, Soil and Environment 65: 90-96.
- Kravchik, M. and Bernstein, N. (2013) Effects of salinity on the transcriptome of growing maize leaf cells point at cell-age specificity in the involvement of the antioxidative response in cell growth restriction. BMC Genomics 14: 1-13.
- Latef, A. A. H. A., Srivastava, A. K., Saber, H., Alwaleed, E. A. and Tran, L. S. Ph. (2017) *Sargassum muticum* and *Jania rubens* regulate amino acid metabolism to improve growth and alleviate salinity in chickpea. Scientific Reports 7: 1-12.
- Liang, W., Ma, X., Wan, P. and Liu, L. (2018) Plant salt-tolerance mechanism: A review. Biochemical and Biophysical Research Communications 495: 286-91.
- Lucini, L., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Canaguier, R., Kumar, P. and Colla, G. (2015) The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. Scientia Horticulturae 182: 124-33.
- Mansour, M. M. F. and Salama, K. H. (2004) Cellular basis of salinity tolerance in plants. Environmental and Experimental Botany 52: 113-22.
- Masondo, N. A., Kulkarni, M. G., Finnie, J. F. and Staden, J. V. (2018) Influence of biostimulants-seed-priming on *Ceratothera triloba* germination and seedling growth under low temperatures, low osmotic potential and salinity stress. Ecotoxicology and Environmental Safety 147: 43-48.

- Munns, R., Passioura, J. B., Colmer, T. D. and Byrt, C. S. (2020) Osmotic adjustment and energy limitations to plant growth in saline soil. *New Phytologist* 225: 1091-96.
- Mutale-joan, Ch., Rachidi, F., Mohamed, H. A., El Mernissi, N., Aasfar, A., Barakate, M., Mohammed, D., Sbabou, L. and El Arroussi, H. (2021) Microalgae-cyanobacteria-based biostimulant effect on salinity tolerance mechanisms, nutrient uptake, and tomato plant growth under salt stress, *Journal of Applied Phycology* 33: 3779-95.
- Pachura, P., Kubicka, A. O. and Grabowska, B. S. (2016) Assessment of the availability of heavy metals to plants based on the translocation index and the bioaccumulation factor. *Desalination and Water Treatment* 57: 1469-77.
- Planques, B., Colla, G., Svecova, E., Cardarelli, M., Roupael, Y., Reynaud, H. and Canaguier, R. (2012) Effectiveness of a plant-derived protein hydrolysate to improve crop performances under different growing conditions. In *I World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture* 1009: 175-79.
- Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K. and Gorecki, H. (2018) Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. *Molecules* 23: 470.
- Rahman, M., Mostofa, M. G., Keya, S. S., Siddiqui, M., Ansary, M., Uddin, M., Das, A. K. and Tran, L. S. P. (2021) Adaptive mechanisms of halophytes and their potential in improving salinity tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences* 22: 10733.
- Rathore, S. S., Chaudhary, D. R., Boricha, G. N., Ghosh, A., Bhatt, B. P., Zodape, S. T. and Patolia, J. S. (2009) Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South African Journal of Botany* 75: 351-55.
- Roupael, Y., Cardarelli, M., Bonini, P. and Colla, G. (2017) Synergistic action of a microbial-based biostimulant and a plant derived-protein hydrolysate enhances lettuce tolerance to alkalinity and salinity. *Frontiers in Plant Science* 8: 131.
- Saidimoradi, D., Ghaderi, N. and Javadi, T. (2019) Salinity stress mitigation by humic acid application in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae* 256: 108594.
- Shahid, M. A., Sarkhosh, A., Khan, N., Balal, R. M., Ali, S., Rossi, L., Gomez, C., Mattson, N., Nasim, W. and Garcia-Sanchez, F. (2020) Insights into the physiological and biochemical impacts of salt stress on plant growth and development. *Agronomy* 10: 938.
- 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 Sciences* 22: 123-131.
- Spinelli, F., Fiori, G., Noferini, M., Sprocati, M. and Costa, G. (2010) A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Scientia Horticulturae* 125: 263-269.
- Subbarao, G. V., Yoshihashi, T., Worthington, M., Nakahara, K., Ando, Y., Sahrawat, K. L., Rao, I. M., Lata, J. C., Kishii, M. and Braun, H. J. (2015) Suppression of soil nitrification by plants. *Plant Science* 233: 155-164.
- Stepien, P. and Klbus, G. (2006) Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biologia Plantarum* 50: 610-616.
- Taha, R. S., Alharby, H. F., Bamagoos, A. A., Medani, R. A. and Rady, M. M. (2020) Elevating tolerance of drought stress in *Ocimum basilicum* using pollen grains extract; A natural biostimulant by regulation of plant performance and antioxidant defense system. *South African Journal of Botany* 128: 42-53.
- Tian, Sh., Lu, L., Xie, R., Zhang, M., Jernstedt, J., Hou, D., Ramsier, C. and Brown, P. (2015) Supplemental macronutrients and microbial fermentation products improve the uptake and transport of foliar applied zinc in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. Studies utilizing micro X-ray fluorescence. *Frontiers in Plant Science* 5: 808.
- ur Rehman, H., Alharby, H. F., Bamagoos, A. A., Abdelhamid, M. T. and Rady, M. M. (2021) Sequenced application of glutathione as an antioxidant with an organic biostimulant improves physiological and metabolic adaptation to salinity in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry* 158: 43-52.
- Van Oosten., James, M., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S. and Maggio, A. (2017) The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 4: 1-12.
- Van, E. Z., Zhang, Y. and Testerink, Ch. (2020) Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review of Plant Biology* 71: 403-433.
- Wozniak, E., Blaszcak, A., Wiatrak, P. and Canady, M. (2020) Biostimulant mode of action: Impact of biostimulant on whole-plant level. In: *The Chemical Biology of Plant Biostimulants* (eds. Geelan, D. and Xu, L.) Pp. 205-227. Wiley Online Library. Hoboken, NJ, USA.
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A. and Brown, P. H. (2017) Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science* 7: 2049.
- Yarsi, G., Sivaci, A., Dasgan, H. Y., Altuntas, O., Binzet, R. and Akhoundnejad, Y. (2017) Effects of salinity stress on chlorophyll and carotenoid contents and stomata size of grafted and ungrafted galia C8 melon cultivar. *Pakistan Journal of Botany* 49: 421-426.
- Zahedi, S. M., Hosseini, M. S., Abadia, J. and Marjani, M. (2020) Melatonin foliar sprays elicit salinity stress tolerance

- and enhance fruit yield and quality in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Plant Physiology and Biochemistry* 149: 313-323.
- Zhang, X., Wei, L., Wang, Z. and Wang, T. (2013) Physiological and molecular features of *Puccinellia tenuiflora* tolerating salt and alkaline-salt stress. *Journal of Integrative Plant Biology* 55: 262-276.
- Zhao, Ch., Zhang, H., Song, Ch., Zhu, J. K. and Shabala, S. (2020) Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation* 1: 100017.

Effect of biostimulants on water content and micronutrients and macronutrients of *Puccinellia distans* under salinity stress

Saeed Hosseini¹, Leila Shabani^{1*}, Mohammad Reza Sabzalian²

¹ Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahrekord University, Iran

² Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

(Received: 05/11/2021, Accepted: 22/01/2022)

Abstract

Biostimulants are a variety of compounds of plant and animal origin that are used to improve the quality of plant growth. In this study, which was conducted in 2021, the effect of commercial biostimulant Algabon[®], algal biostimulant [seaweed extract (SWE)], and namid (amino acid biostimulant) on the plant *Puccinellia distans* to reduce the effects of salinity stress by improving growth conditions and absorption of elements micronutrients and macronutrients was assessed. In a factorial design with Algabon[®] spray (0.5 g/l) and Bonamid[®] (2 g/l) and salt irrigation [300 mM/l (EC = 27.18 dS/m)] on 45-day-old seedlings grown in pots, experiment was performed. The results showed that the application of this concentration of salinity alone reduced the fresh and dry weight of shoots and roots, increased of electrolyte leakage, content of macro- and micronutrients of shoots and roots and their transfer factor, decreased bioaccumulation factor of Cu, Fe, K, Na, P, Mn and Zn (significant at $P < 0.05$). Pre-treatment with biostimulants in salinity condition (SC) and non-salinity condition (NSC) reduced the effects of salinity stress in all indicators and Bonamid[®] in contrast to Algabon[®], has better physiological effects on the plant. In general, it seems that biostimulants are also effective in reducing salinity stress in a salinity-compatible halophyte plant, but the method of use and amount of biostimulants need further study.

Keywords: Algabon, Bonamid, Bioaccumulation factor, Transfer factor

Corresponding author, Email: lshabani@gmail.com