

پاسخ مؤلفه‌های رویشی و فیزیولوژیکی گیاه گندم به شوری و تأثیر پیش تیمار زیستی بذر با قارچ‌های *Piriformospora indica* و *Trichoderma virens* در بهبود سازگاری گیاه به تنش شوری

فهیمه سراج^۱، ندا سلیمی تملی^۱، همت‌اله پیردشتی^{۲*}، یاسر یعقوبیان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- دکتری زراعت، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۷)

چکیده

به منظور بررسی روند پاسخ صفات رویشی و فیزیولوژیکی گندم رقم مروارید به پیش تیمار زیستی قارچ‌های *Piriformospora indica* (Pi) و *Trichoderma virens* (Trich)، در شرایط شور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به اجرا درآمد. عامل‌های آزمایش شامل هفت سطح شوری (صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۴۰ میلی‌مولار NaCl) و پیش تیمار زیستی قارچی شامل چهار سطح (عدم تلقیح، تلقیح با قارچ Pi، تلقیح با قارچ Trich و تلقیح همزمان دو قارچ) بود. نتایج تجزیه رگرسیونی بیانگر خطی بودن پاسخ بعضی از صفات از جمله قطر ساقه، تعداد برگ سبز در بوته، وزن تر و خشک شاخساره و محتوای نسبی آب برگ (RWC) نسبت به سطوح شوری بود. این صفات، با افزایش غلظت NaCl از صفر تا ۲۴۰ میلی‌مولار، بین ۱۳ تا ۴۳ درصد کاهش نشان دادند. از طرفی، عکس‌العمل صفاتی چون ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ساقه، و وزن تر برگ به صورت کاهشی ولی از نوع معادله‌ی دو تکه‌ای بود. از سوی دیگر، پیش تیمار بذر با قارچ‌های همزیست به ویژه Pi و Trich+Pi رشد رویشی و محتوای آب نسبی برگ را به صورت قابل توجهی افزایش داد. همچنین نشأت الکترولیت در اثر افزایش تنش شوری روند افزایشی داشت ولی پیش تیمار زیستی بذر شیب افزایش آن را نسبت به تیمار شاهد کاهش داده و از آسیب بیشتر به گیاه جلوگیری کرد. در مجموع، نتایج بیانگر نقش مثبت همزیستی بذر گندم با قارچ‌های *P. indica* و *T. virens* به ویژه در شرایط شور می‌باشد.

کلمات کلیدی: اندوفیت، تجزیه رگرسیونی، نشأت الکترولیت، قطر ساقه

The response of wheat (*Triticum aestivum* L.) vegetative and physiological attributes to salt stress and effect of seed biopriming by *Piriformospora indica* and *Trichoderma virens* in improving salinity compatibility

F. Seraj¹, N. Salimi Tamali¹, H. Pirdashti^{2*}, Y. Yaghoobian³

1- M.Sc. Student of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Ph.D. of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ramin Agricultural and Natural Resources University, Khouzestan, Iran.

(Received: Oct. 10, 2016 – Accepted: Feb. 25, 2017)

Abstract

The present research was aimed to evaluate the response of wheat vegetative and physiological attributes to seed biopriming by *Piriformospora indica* (Pi) and *Trichoderma virens* (Trich). Experiment was conducted as factorial based on completely randomized design with four replicates. Factors were included seven levels of salt stress (0, 40, 80, 120, 160, 200 and 240 mM of NaCl) and four levels of biopriming (control, seed priming by Pi or Trich and dual inoculation by Pi+Trich). Results showed that some measured parameters such as stem diameter, green leaf number per plant, fresh and dry weights of aerial parts and relative water content (RWC) linearly respond to salt stress. These parameters were reduced from 13 to 43 % when salt stress increased from 0 to 240 mM of NaCl. By contrast, some studied parameters such as plant height, stem fresh and dry weights, leaf fresh weight reduced by increasing of salt stress as a segmented equation. Meanwhile, biopriming of Pi and Pi+Trich markedly improved vegetative parameters in addition to RWC in wheat plants. Although, salt stress increased electrolyte leakage seed biopriming could ameliorate its slope as compared to the uninoculated control and therefore prevent its damage to the plant. In conclusion, it seems that seed biopriming of wheat by growth promoting fungi, *P. indica* and *T. virens*, positively improved the growth attributes under salt stress conditions.

Keywords: Endophyte, regression analysis, electrolyte leakage, Relative water content

* Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir

قارچ‌ها و باکتری‌های محرک رشد گیاهی (PGPR) برای پیش‌تیمار بذر استفاده می‌گردد که می‌توانند سازگاری و پایداری گیاهان را، بخصوص اگر میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در محیط ریشه پایدار باشند، افزایش دهند (Bennett and Whipps, 2008). از جمله این ریزجانداران می‌توان به قارچ *Piriformospora indica* اشاره کرد.

قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* علاوه بر تحمل سطوح شوری زیاد قادر است موجب القای مقاومت در گیاهان میزبان شده و از اثرات سوء شوری بکاهد (Zarea et al., 2012a). از جمله راهکارهای القای مقاومت به وسیله این قارچ می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اسمولیت‌ها، به‌ویژه پرولین، و حفظ رنگیزه‌های کلروفیلی اشاره نمود که از این نظر همانند قارچ‌های میکوریزا است (Zarea et al., 2012b). در شرایط شور، این قارچ از راه فعال ساختن سازوکارهای فیزیولوژیک و مولکولی سبب تجمع یون‌های سدیم در ریشه شده و از ورود آنها به بخش هوایی گیاه ممانعت به عمل می‌آورد و از این طریق سبب کاهش اثرات سوء شوری می‌گردد (Sepehri et al., 2009). در این زمینه، یافته‌های قبولی و همکاران (Ghabooli et al., 2011) نیز بیانگر اهمیت ارتباط همزیستی قارچ *P. indica* با گیاه جو می‌باشد. به‌طوری‌که، همزیستی قارچی سبب افزایش مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه جو به ترتیب به میزان ۳۹ و ۴۶ درصد نسبت به شرایط بدون تلقیح گردید. حاجی‌نیا و همکاران (Hajinia et al., 2010) نیز بیان کردند که رشد بهتر گیاهان گندم تیمار شده با قارچ *Piriformospora indica* تحت تنش شوری در مقایسه با گیاهان شاهد به علت تولید کربوهیدرات‌های محلول و مقدار پرولین برگ‌ها است. از طرفی، قارچ‌های تریکودرما نیز با سازوکارهای خاصی سبب افزایش رشد گیاهان شده و مقاومت به تنش‌های غیرزنده را در طول دوره رشد گیاه با بهبود رشد ریشه، ظرفیت نگهداری آب گیاه و جذب مواد مغذی افزایش می‌دهند (Sharma et al., 1999; Gravel et al., 2007). در همین زمینه، افزایش جوانه‌زنی

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در ایران مطرح است و با داشتن بالاترین سطح زیرکشت بین محصولات مختلف، از نظر ارزش اقتصادی رتبه چهارم را در ایران دارا می‌باشد (FAO, 2010). این در حالی است که بخش وسیعی از زمین‌های زیرکشت محصولات عمده کشاورزی، همانند گندم و جو در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران قرار گرفته است و رشد و عملکرد این گیاهان در چنین شرایطی توسط تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده متعددی مانند شوری محدود می‌گردد (Emami, 1996). در منابع مختلف (از جمله Mass and Hoffman, 1977; Colmer et al., 2006) از گندم به عنوان گیاهی نسبتاً متحمل به شوری با آستانه تحمل به شوری شش دسی‌زیمنس بر متر یاد شده است. در شرایط شور با کاهش آب قابل‌دسترس به همراه ایجاد اثر سمیت یونی برخی از عناصر (سدیم و کلر)، قابلیت جذب عناصر غذایی در محلول خاک کاهش یافته که نتیجه آن اختلال در امر تغذیه گیاهان است (Munns, 2002). در سال‌های اخیر ضرورت مطالعه بیولوژیک در ریزوسفر به منظور بهبود تغذیه و رشد گیاه و نیز کنترل عوامل تنش‌زا در محیط ریشه، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Vessey, 2003). در این میان، اندوفیت‌های میکروبی از مهم‌ترین ریزجانداران خاک محسوب می‌شوند. این قارچ‌ها با ایجاد تغییرات ژنتیکی، فیزیولوژیکی و بوم‌شناختی در گیاهان میزبان، بهبود عملکرد در واحد سطح و توسعه کشت آنها را در خاک‌های شور، خشک یا اقلیم‌هایی با تنش‌های غیرزنده و زنده فراهم می‌آورند (Emami, 1996). این ریزجانداران با روش‌های مختلف از جمله بیوپرایمینگ یا پیش‌تیمار بیولوژیکی بذر قابل استفاده برای تلقیح ریشه گیاه میزبان هستند. در بیوپرایمینگ از میکروارگانیسم‌های مفید و عوامل بیولوژیک مانند

قارچ *Trichoderma virens* TS183 (Trich)، تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* (Pi) و تلقیح همزمان دو قارچ Trich+Pi بود. گونه‌های قارچی از بخش بیماری‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه شد که قارچ تریکودرما (*Trichoderma virens* TS183) از ریزوسفر گیاه گندم در مزارع شهرستان ساری جداسازی شده بود. قارچ *P. indica* در محیط کشت مایع کفر (Kafer, 1977) کشت شده و به مدت دو هفته در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه روی شیکر قرار گرفت. پس از گذشت مدت زمان مذکور، که رشد رویشی قارچ به حداکثر خود رسید، سوسپانسیونی با غلظت 10^9 واحد کلونی ساز در میلی‌لیتر با استفاده از توئین ۰/۰۵ درصد تهیه و جهت تلقیح بذور استفاده شد. قارچ تریکودرما نیز در محیط کشت سیب‌زمینی دکستروز (PDB: Potato dextrose broth) به مدت دو هفته و تحت شرایط ذکر شده برای Pi کشت شده و سوسپانسیون آن جهت تلقیح بذور تهیه گردید. برای تیمار تلقیح همزمان دو قارچ نیز از نسبت یک به یک سوسپانسیون دو قارچ و همچنین برای تیمار شاهد از محلول آب توئین ۰/۰۵ درصد استفاده شد (Salimi tamali et al., 2014). شمارش تعداد واحدهای کلونی ساز در هر میلی‌لیتر قارچ *P. indica* در محیط کشت کفر و قارچ تریکودرما در محیط کشت روزبنگال-PDA و بر اساس روش اسکيو و لینگ انجام گردید (Askew and Laing, 1993).

خاک مورد استفاده در آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه‌ی تحقیقاتی تهیه و پس از الک کردن با نسبت ۱:۲ با ماسه شسته مخلوط گردید. سپس خاک استریل شده و در گلدان‌هایی با ارتفاع ۲۰ و قطر ۱۰ سانتی‌متر ریخته شد.

بذور گندم (رقم مروارید) ابتدا در هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ده دقیقه ضدعفونی و شش بار با آب مقطر شسته شد. به منظور تسریع جوانه‌زنی، بذور به مدت سه روز در پتری‌دیش قرار گرفته و پس از ظهور جوانه‌ها،

و رشد گیاهچه‌های سویا در اثر تلقیح با قارچ تریکودرما، تحت تنش‌های شوری، خشکی و سرما گزارش شده است (Yazdani et al., 2009; Mastouri et al., 2010). علاوه بر این، گزارشاتی مبنی بر بهبود فعالیت ریزجانداران خاک و ویژگی‌های رشدی گیاهانی مانند ماش‌سبز (Salimi tamali et al., 2014)، اسفناج (Mottaghian et al., 2009)، سویا (Yazdani et al., 2009)، گندم (Shahsavari et al., 2010) و ریحان (Mottaghian et al., 2013) در تیمار با گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما مانند *T. viride*، *T. hamatam* و *T. koningii* و به ویژه *T. harzianum* وجود دارد. از طرفی، میزان افزایش رشد گیاهان تحت تأثیر قارچ تریکودرما در میزبان‌های مختلف متفاوت بوده است. به عنوان مثال، زمانی که تریکودرما به عنوان محرک رشد به خاک اضافه گردید موجب افزایش وزن خشک گیاه در گوجه‌فرنگی و فلفل شد. اما در لوبیا و تربچه تأثیری بر افزایش رشد این گیاهان نداشت (Chang et al., 1986). بنابراین، با توجه به اهمیت گیاه گندم و مسائل موجود در زمینه شوری آب و خاک و همچنین اثرات مثبت قارچ‌های *Trichoderma virens* و *Piriformospora indica* در افزایش تحمل به شوری، این پژوهش با هدف تعیین پاسخ ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی این گیاه راهبردی در شرایط شور طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به اجرا درآمد. عامل‌های آزمایش شامل تنش شوری در هفت سطح (۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰ و ۲۴۰ میلی‌مولار NaCl) و تیمار پیش تیمار زیستی بذور (بیوپرایمینگ) در چهار سطح شامل عدم تلقیح، تلقیح با

$$\text{معادله ۲)} \quad \frac{EC_1}{EC_2} \times 100 = \text{درصد نشت الکترولیت}$$

همچنین صفات مورفولوژیک گیاه از جمله قطر ساقه (با کمک کولیس دیجیتالی)، ارتفاع بوته و تعداد برگ سبز در بوته و نیز وزن تر و خشک اندام‌های رویشی شامل ساقه، برگ و شاخساره اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین وزن خشک اندام‌های گیاهی، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند.

در نهایت برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آزمون نرمال به روش کولموگروف-اسمیرنوف انجام و سپس با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ (Soltani, 2012) تجزیه واریانس گردید. جهت کمی‌سازی روند تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه گندم تحت تنش شوری از تجزیه رگرسیون و برازش معادلات خطی (معادله ۳) و دو تکه‌ای (معادله ۴) پیشنهاد شده توسط بخشنده و همکاران (Bakhshande et al., 2012) استفاده شد.

$$\text{معادله ۳)} \quad y = b_1x + a$$

$$\text{معادله ۴)} \quad y = b_1x + a \quad \text{if } x \leq x_0$$

$$y = (b_1x_0 + a) + b_2(x - x_0) \quad \text{if } x > x_0$$

که در آن، y مقدار پیش‌بینی شده برای صفات مورد نظر، a مقدار ثابت در غلظت صفر شوری، x غلظت شوری، x_0 نقطه چرخش بین دو فاز معادله b_1 و b_2 شیب تغییرات صفات (کاهشی یا افزایشی) به ترتیب در فاز یک و دو معادله هستند. میانگین‌ها در سطوح پیش تیمار زیستی نیز با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. رسم منحنی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر تنش شوری بر تمام صفات مورفولوژیک گیاه شامل ارتفاع

بذرهای جوانه‌دار شده جهت تلقیح با تیمارهای قارچی، در سوسپانسیون قارچ غوطه‌ور شده و به مدت یک ساعت روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار گرفتند. سپس تعداد شش عدد بذر در عمق یک سانتی‌متری خاک در هر گلدان کاشته شد. گلدان‌ها تا اواخر مرحله‌ی رویشی، ۳۰ روز پس از کاشت، به صورت سه روز در میان با آب معمولی و سپس به مدت سه هفته با آب آبیاری حاوی غلظت‌های مورد نظر کلرید سدیم، آبیاری شد. میزان آب آبیاری در هر مرحله حدود ۶۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان لحاظ گردید. پس از پایان آزمایش نمونه‌برداری از اندام هوایی گیاه انجام و صفات فیزیولوژیک شامل محتوای نسبی آب برگ (RWC) و نشت الکترولیت اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری RWC یک برگ از آخرین برگ گسترش یافته گیاه برداشت و پس از توزین به لوله‌های آزمایش حاوی آب مقطر منتقل و بعد از ۲۴ ساعت وزن آماس برگ‌ها تعیین گردید. سپس نمونه‌های برگ به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۷۲ درجه خشک و محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها با استفاده از معادله ۱ بدست آمد (Schonfeld et al., 1988).

$$\text{معادله ۱)} \quad RWC = \frac{WF - WD}{WT - WD} \times 100$$

که در این رابطه: WF: وزن تر برگ، WD: وزن خشک برگ و WT: وزن آماس برگ است.

به منظور اندازه‌گیری نشت الکترولیت، نمونه‌ی برگ در لوله‌های آزمایش حاوی ده میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفت. پس از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر (CON 410، ساخت کشور سنگاپور) اندازه‌گیری شد (EC_1). به منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، لوله‌های آزمایش به مدت ۲۰ دقیقه در دستگاه بن‌ماری با دمای ۹۰ درجه قرار داده و مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها ثبت گردید (EC_2). سپس درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Teutonica et al., 1993).

شوری بر صفات فیزیولوژیکی ذکر شده، در سطح احتمال یک درصد معنی داری بود. همچنین، اثر ساده پیش تیمار زیستی بر محتوای نسبی آب برگ در سطح یک درصد و بر صفت نشت الکترولیت در سطح پنج درصد معنی دار شد. با توجه به نتایج، برهم کنش معنی داری ($P \leq 0.05$) نیز بین تنش شوری و پیش تیمار زیستی بذر از نظر نشت الکترولیت مشاهده شد (جدول ۱).

بوته، قطر ساقه و تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. همچنین، به جز وزن خشک برگ در سایر صفات مربوط به وزن تر و خشک اندام‌های رویشی شامل وزن تر و خشک ساقه و شاخساره و وزن خشک برگ اثر معنی داری ($P \leq 0.01$) داشت. از طرفی، همزیستی قارچ‌ها اثر معنی داری بر صفات مورفولوژیکی گیاه گندم شامل ارتفاع بوته ($P \leq 0.01$)، وزن تر ساقه، وزن خشک ساقه، برگ ($P \leq 0.05$) و شاخساره ($P \leq 0.01$) نشان داد. اثر ساده

جدول ۱- میانگین مربعات اثر سطوح مختلف شوری و پیش تیمار زیستی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، رویشی و فیزیولوژیکی گیاه گندم (رقم مروارید)

Table 1- Mean squares of different salinity levels and biopriming on morphological, vegetative and physiological characteristics of wheat (cv. Morvarid)

منابع تغییر S.O.V	شوری Salinity	قارچ Fungi	شوری × قارچ Salinity×Fungi	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
درجه آزادی df	6	3	18	
صفات مورفولوژیکی Morphological traits				
بوته ارتفاع Plant height	81.73**	21.70**	2.71 ^{ns}	21.35 ^{ns}
قطر ساقه Stem diameter	0.239**	0.025 ^{ns}	0.0117 ^{ns}	9.11 ^{ns}
تعداد برگ leaf number	1.77**	0.596 ^{ns}	0.281 ^{ns}	11.17 ^{ns}
وزن تر و خشک بخش هوایی Aerial part fresh and dry weight				
وزن تر ساقه Stem fresh weight	0.190**	0.025*	0.0059 ^{ns}	21.54 ^{ns}
وزن تر برگ Leaf fresh weight	0.191**	0.005 ^{ns}	0.0094 ^{ns}	21.10 ^{ns}
وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	0.677**	0.032 ^{ns}	0.014 ^{ns}	16.71 ^{ns}
وزن خشک ساقه Stem dry weight	0.0052**	0.001*	0.0001 ^{ns}	19.83 ^{ns}
وزن خشک برگ Leaf dry weight	0.008 ^{ns}	0.001*	0.0003 ^{ns}	15.60 ^{ns}
وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	0.023**	0.003**	0.005 ^{ns}	13.03 ^{ns}
صفات فیزیولوژیکی Physiological traits				
محتوای آب نسبی RWC	387.85**	832.97**	50.59 ^{ns}	13.98 ^{ns}
نشت الکترولیت Electrical conductivity	1334**	329.13*	150.39*	20.97 ^{ns}

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. ns، غیر معنی دار

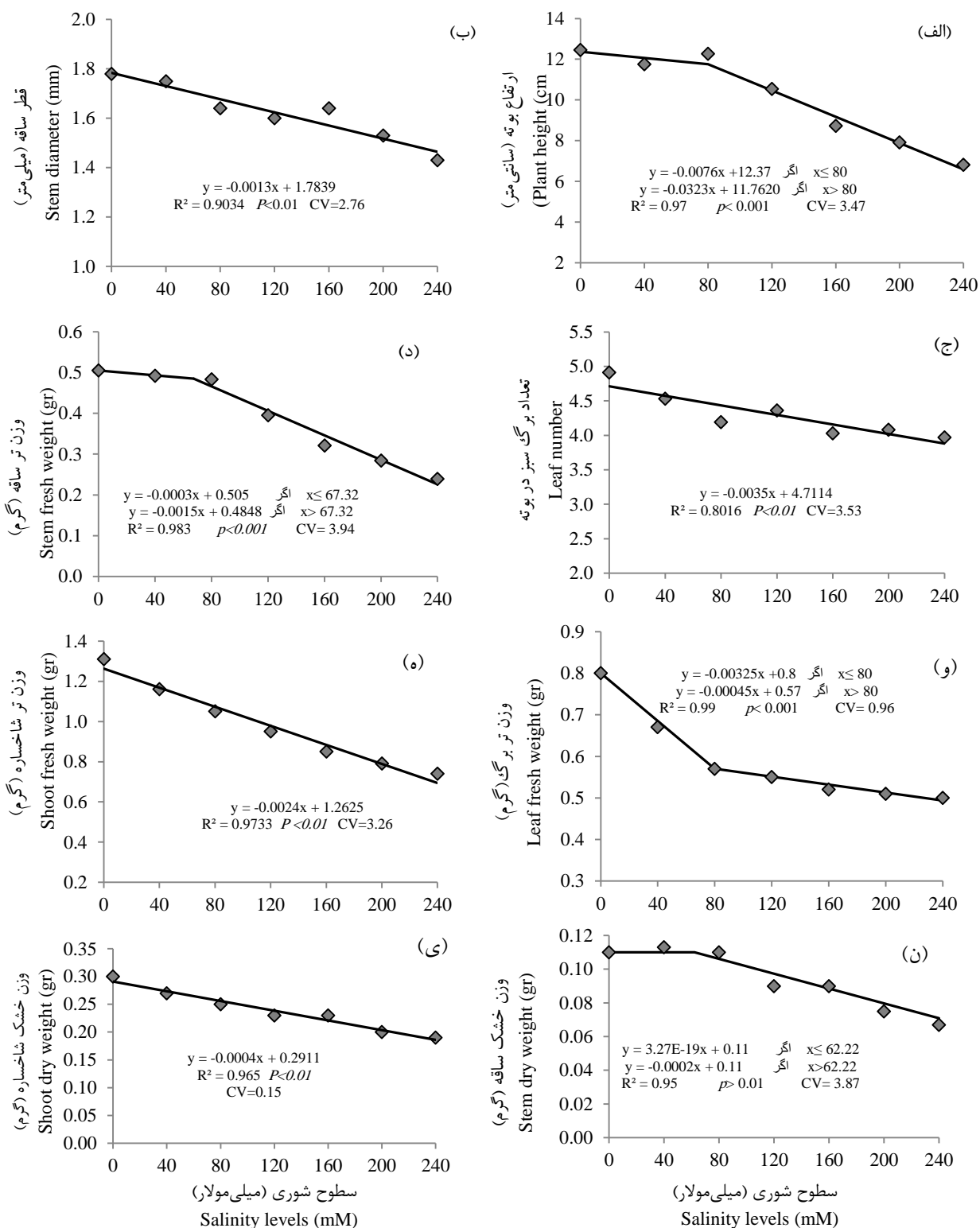
*, ** are significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ns, non-significant.

۰/۰۰۱۳، ۰/۰۰۳۵، ۰/۰۰۲۴ و ۰/۰۰۰۴ واحد در میلی مولار کاهش یافتند (شکل ۱-ب، ج، ه و ی). در همین زمینه، میزان کاهش قطر ساقه و تعداد برگ سبز در شوری ۲۴۰ میلی مولار نسبت شاهد به ترتیب ۱۳ و ۳۵ درصد بود، در حالی که این مقدار برای وزن تر و خشک شاخساره به ترتیب حدود ۴۳ و ۳۷ درصد بود (شکل ۱-ب، ه، ن). این نتیجه بیانگر حساسیت بیشتر وزن اندام هوایی در مقایسه با صفات مورفولوژیک گندم است. وزن خشک اندام هوایی گیاه هم از طریق رشد رویشی و هم از طریق کاهش فتوسنتز تحت تأثیر قرار می گیرد که در نتایج کافی (Kafi, 1998) به آن اشاره شده است. کاهش تعداد برگ در اثر شوری در پژوهش های زیادی از جمله هندوی و همکاران (El-Hendawy et al., 2005) و محمد و همکاران (Mohammad et al., 1998) نیز گزارش شده است. میرمحمدی میبدی و قره یاضی (Mirmohamadi meybodi and Ghareyazi, 2002) دلیل کاهش وزن اندام هوایی را علاوه بر کاهش فتوسنتز در اثر کاهش سطح برگ، به کاهش هدایت روزنه ای، تجمع Na و Cl در اندام ها و یا تخریب ساختمان کلروپلاست مرتبط دانستند. از سویی، تغییرات صفت وزن تر برگ به صورت معادله دو تکه ای بوده که با افزایش سطوح شوری از صفر تا ۸۰ میلی مولار با روند کاهشی و شیب ۰/۳- روبه رو گردید اما با افزایش سطوح شوری تا ۲۴۰ میلی مولار شیب تغییرات آن کاهش یافت (شکل ۱-و).

نتایج مقایسه میانگین اثر پیش تیمار زیستی بر صفات مورد بیانگر بهبود قابل توجه ارتفاع بوته و وزن تر و خشک ساقه در گیاهچه های همزیست با قارچ Pi نسبت به گیاهچه های شاهد بود. این افزایش برای ارتفاع بوته و وزن تر و وزن خشک ساقه گیاه نسبت به شاهد به ترتیب ۱۹، ۱۸ و ۱۵ درصد بود (شکل ۲-الف، ب و ج). پراساد و همکاران (Prasad et al., 2008) تأثیر *P. indica* را روی گیاه *Bacopa monniera* L. در شرایط درون شیشه ای مورد ارزیابی قرار دادند و مشخص شد که رشد در گیاهان تلقیح شده با قارچ به طور معنی داری افزایش یافت.

براساس یافته ها، روند تغییرات صفات ارتفاع بوته و وزن تر و خشک ساقه نسبت به افزایش تنش شوری به صورت معادله دو تکه ای و همواره کاهشی بود. به طوری که با افزایش سطوح شوری از صفر تا ۸۰ میلی مولار، ابتدا با شیب ملایم و پس از آن تا ۲۴۰ میلی مولار به ترتیب با شیب ۰/۰۳۲۳-، ۰/۰۰۱۵- و ۰/۰۰۰۲- واحد در میلی مولار کاهش یافتند (شکل ۱-الف، د و ن). در همین راستا، یارنیا و همکاران (Yarnia et al., 2011) نیز با مطالعه تحمل به شوری لاین های یونجه گزارش کردند که با افزایش شوری میزان وزن ریشه، برگ و ساقه به شدت کاهش پیدا می کند. همچنین شوری خاک باعث کاهش رشد ساقه گیاه شده و در غلظت های زیاد نمک منجر به توقف آشکار رشد می شود. علت این امر کاهش پتانسیل آب موجود در خاک یا اثر اسمزی ناشی از حضور نمک در خاک است که جذب آب توسط ریشه را محدود می سازد (Levitt, 1980). همچنین در تحقیقات انجام شده توسط رجیانی و همکاران (Reggiani et al., 1995) مشخص شد که با افزایش شوری، به دلیل اختلال رشدی و از بین رفتن سطح فتوسنتز کننده، طول ساقه و ریشه گندم به طور معنی داری کاهش یافت. محمود و همکاران (Mahmood et al., 2003) با بررسی تأثیر شوری بر ویژگی های ظاهری دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) کاهش زیست توده آن ها را با افزایش سطح شوری گزارش نمودند. رودریگز و همکاران (Rodriguez et al., 2005) نیز کاهش زیست توده در گیاهان تحت تنش شوری را در نتیجه کاهش وزن خشک ساقه و برگ گیاه عنوان نمودند. از طرفی، کوربان و همکاران (Kurban et al., 1999) بیان کردند که در طوح پایین شوری وزن خشک نوعی از حبوبات افزایش می یابد، ولی در سطوح بالاتر کاهش می یابد.

روند تغییرات در مؤلفه های قطر ساقه، تعداد برگ سبز در بوته وزن تر و خشک شاخساره در پاسخ به افزایش شوری به صورت خطی بود و به ترتیب با شیب



شکل ۱- اثر ساده شوری بر صفات ارتفاع بوته (الف)، قطر ساقه (ب)، تعداد برگ (ج)، وزن تر ساقه (د)، برگ (و) و شاخساره (ه) و وزن خشک ساقه (ز) و شاخساره (ح) گیاه گندم.

Fig. 1- The effect of salinity on plant height (a), stem diameter (b), leaf number (c), stem (d) Leaf (e) and shoot fresh weights (f), Stem (g) and shoot dry weights (h) of wheat.

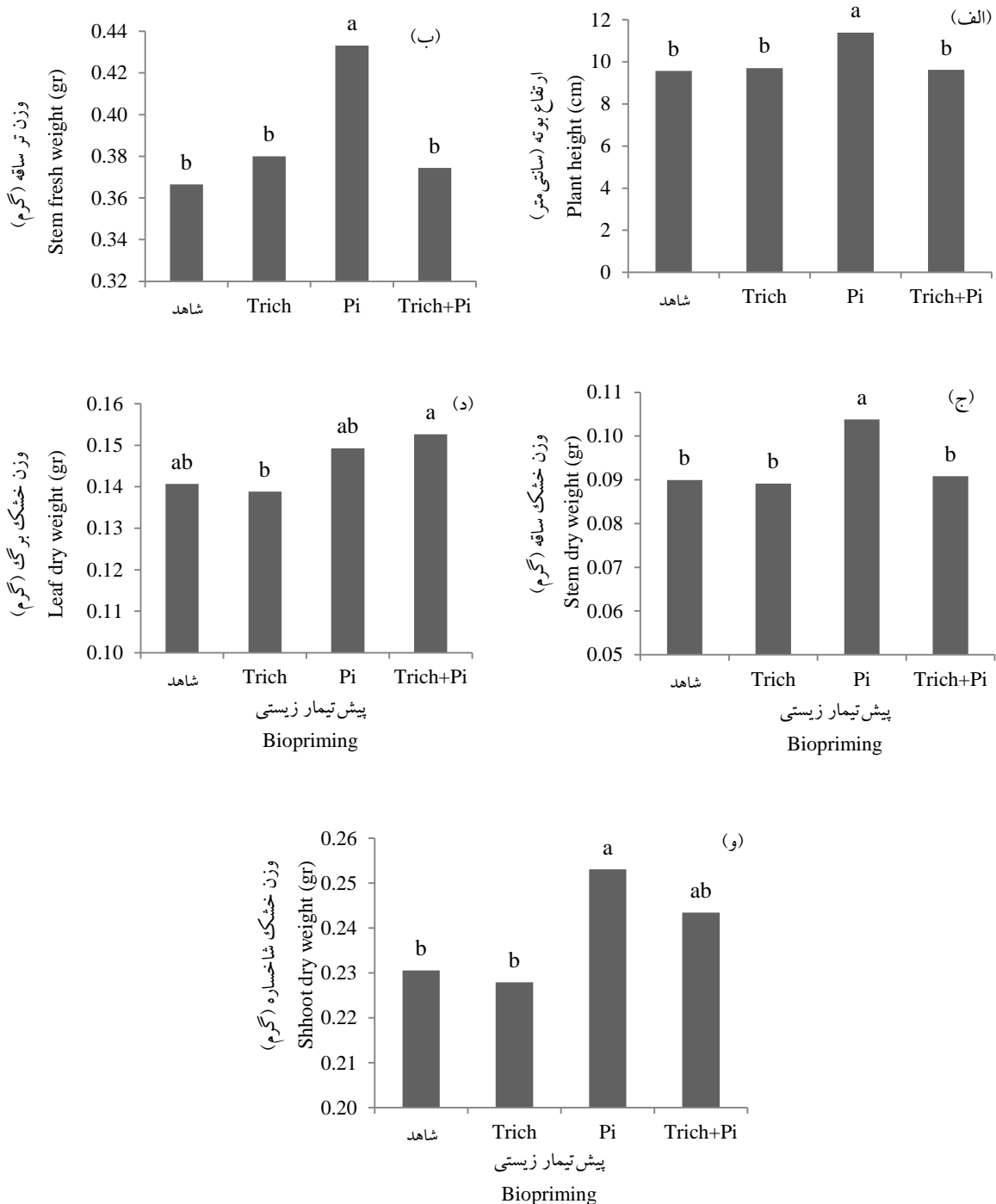
در تعامل با گیاهان بوده و با انجام فعالیت‌هایی نظیر تولید انواع بیشماری از متابولیت‌ها، تجزیه ترکیبات مختلف آلی، تثبیت نیتروژن جوی، تولید مواد افزایش‌دهنده رشد گیاه و افزایش قابلیت فراهمی عناصر غذایی معدنی برای گیاه، سبب بهبود رشد گیاه می‌گردند. همچنین، بهبود رشد گونه‌های مختلف گیاهی در همزیستی با *P. indica* مؤید چنین نقشی برای این قارچ است (Kumari et al., 2003; Peskan-Berghoefer et al., 2004). قارچ‌های همزیست به صورت مستقیم همانند بهبود تغذیه گیاهان از طریق جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش جذب آب توسط گیاه و غیرمستقیم همانند کاهش تنش‌های غیرزیستی (شوری و خشکی) سبب افزایش رشد گیاه میزبان می‌شوند (Feng et al., 2002). وجود قارچ‌های میکوریز در خاک‌های شور و ایجاد همزیستی با ریشه بسیاری از گیاهان در این شرایط نشان می‌دهد که احتمالاً برخی از این قارچ‌ها در برابر تنش شوری مقاوم بوده و در همزیستی با گیاهان، از طریق بهبود رشد گیاه، تحمل آن‌ها را در برابر شوری افزایش می‌دهند (Al-Karaki, 2000; Yano-melo et al., 2003).

با اعمال تنش شوری، محتوای نسبی آب برگ (RWC) به صورت خطی و با شیب ۰/۰۵۱۹- واحد با ضریب تبیین ۰/۸۳ کاهش یافت. بیش‌ترین مقدار RWC در سطح صفر میلی‌مولار شوری و کم‌ترین آن در سطح ۱۶۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۳-الف). کاهش محتوای نسبی آب برگ‌ها به مفهوم کاهش وضعیت آب گیاه است که با کاهش آب درون سلول‌های گیاهی، عمل تقسیمات سلولی متوقف شده و در پی آن به کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی منجر می‌گردد. همچنین این کاهش آب می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها و عدم ورود دی‌اکسید کربن لازم برای فتوسنتز گردد. بنابراین یکی از دلایل کاهش میزان زیست‌توده گیاهی تحت تنش شوری کاهش محتوای آب نسبی بافت‌های گیاهی و کاهش غلظت کلروفیل در برگ‌ها است (Diego et al., 2004; Nasir khan et al., 2007;)

انیس و همکاران (Anith et al., 2011) نیز در بررسی اثر توأم قارچ‌های تریکودرما و *P. indica* روی گیاه فلفل سیاه افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ بوته و وزن تر و خشک ساقه را مشاهده نمودند. در همین زمینه، نتایج تحقیقات نیز نشان می‌دهد که اصلاح روابط آبی گیاه توسط قارچ‌های میکوریز می‌تواند به واسطه هدایت روزنه‌ای و تعرق، اثرات هورمونی و تعادل هورمونی، افزایش سریع جذب آب و رساندن پتانسیل گیاه به حد تعادل، جذب بیشتر آب به واسطه هیف‌ها و خاکدانه‌سازی تحت تأثیر قرار گیرد (Manafi, 2010). از طرفی، وزن خشک برگ نیز تحت تأثیر پیش‌تیمار زیستی قرار گرفته و در تلقیح با Trich+Pi افزایش ۹ درصدی نسبت به شاهد نشان داد، ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با گیاهچه‌های پیش‌تیمار شده با *P. indica* و شاهد نداشت و تنها تفاوت آن با تیمار Trich معنی‌دار بود (شکل ۲-د). کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) دریافتند که همزیستی میکوریزی از طریق بهبود گسترش هیف‌های قارچ در منافذ خاک، سبب افزایش وزن خشک گیاه در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گردید. همچنین نتایج نشان داد که همزیستی بذر گندم با Trich+Pi و قارچ اندوفیت *P. indica* وزن خشک شاخساره را نسبت به شاهد به ترتیب حدود ۶ و ۹ درصد افزایش داد هرچند این افزایش تنها در کاربرد قارچ *P. indica* نسبت به شاهد معنی‌دار بود (شکل ۲-و). در همین راستا، حاجی‌نیا و همکاران (Hajinia et al., 2010) بهبود معنی‌دار رشد و میزان زیست‌توده تر و خشک اندام‌های هوایی در گیاهان گندم تلقیح شده با قارچ *P. indica* و سویه‌های مختلف باکتری آزوسپیریولوم را نسبت به گیاهان شاهد تحت تنش شوری گزارش نمودند. رای و همکاران (Rai et al., 2001) نیز بیان کردند که طول ریشه و ساقه و اندازه سطح برگ در حضور *P. indica* افزایش می‌یابد. بر اساس نظر پائول و کلارک (Paul and Clark, 1989) ریزجانداران خاک از جمله قارچ‌های اندوفیت با برقراری روابط همیاری و همزیستی

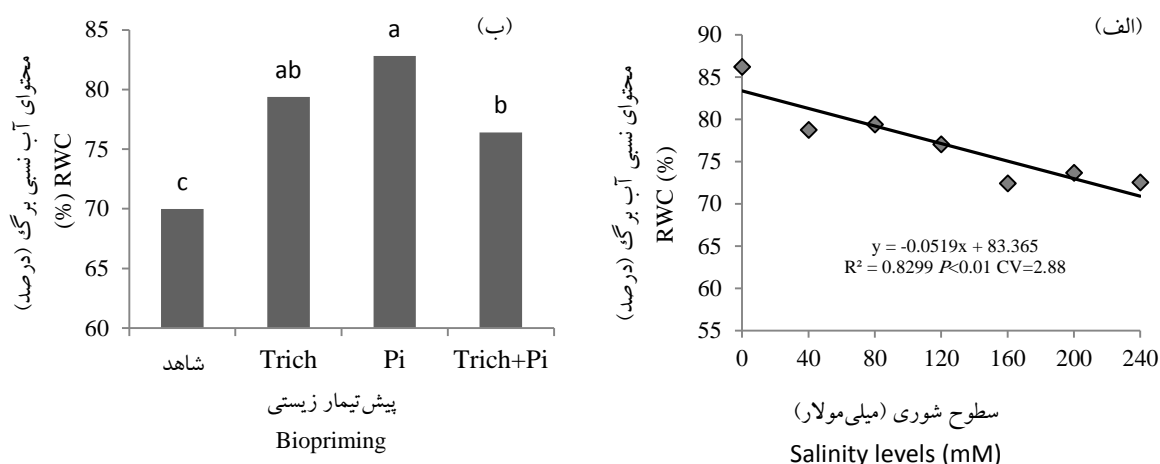
و وزن زیست توده گیاهی کاهش یافت (شکل ۱-د، ی).

(Hajinia et al., 2010) در آزمایش حاضر نیز با افزایش سطوح شوری، محتوای نسبی آب برگ (شکل ۳-الف)



شکل ۲- اثر ساده پیش تیمار زیستی بر صفات ارتفاع بوته (الف)، وزن تر ساقه (ب)، وزن خشک ساقه (ج)، وزن خشک برگ (د) و وزن خشک شاخساره (ه) گیاه گندم (رقم مروارید).

Fig. 2- The effect of biopriming on plant height (a), stem fresh weight (b), stem dry weight (c), leaf dry weight (d) and shoot dry weight (e) of wheat plant (cv. Morvarid).

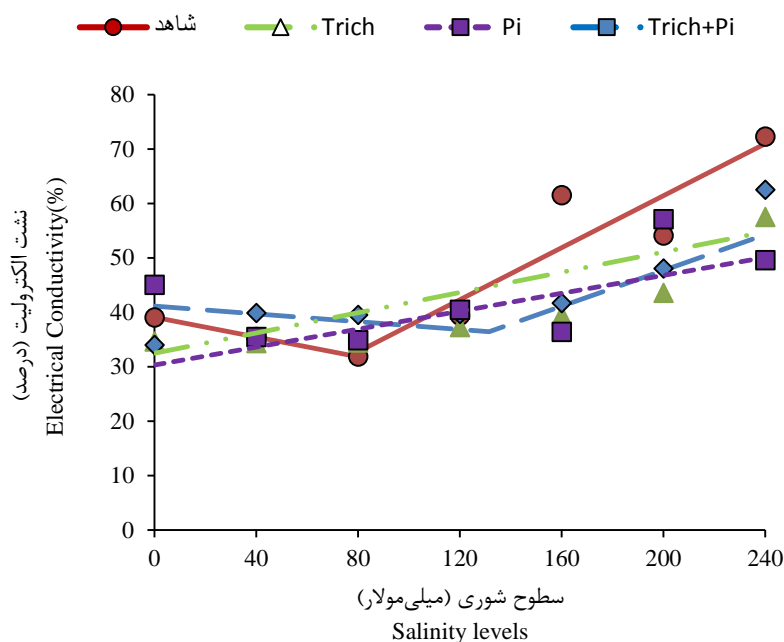


شکل ۳- اثر ساده شوری (الف) و پیش تیمار زیستی (ب) بر محتوای آب نسبی برگ در گیاه گندم (رقم مروارید).

Fig. 3- The effect of salinity (a) and biopriming (b) on RWC of wheat plant (cv. Morvarid).

الکترولیت روند کاهشی داشته و با افزایش سطوح شوری از ۸۰ تا ۲۴۰ میلی مولار با شیب حدود ۲۴ درصد افزایش یافت. در مقایسه، در همزیستی Trich+Pi، این صفت از شوری صفر تا ۱۲۰ میلی مولار با شیب $0/035$ - واحد در هر میلی مولار کاهش یافت و پس از آن با افزایش سطوح شوری تا ۲۴۰ میلی مولار با شیب $0/164$ واحد افزایش پیدا کرد. در مجموع، در سطوح بالای شوری (حدود ۲۴۰ - ۱۲۰ میلی مولار)، استفاده از پیش تیمار زیستی باعث کاهش نشت الکترولیت نسبت به تیمار شاهد گردید، که این کاهش در همزیستی قارچ‌های Trich، Pi و Trich+Pi در شوری ۲۴۰ میلی مولار به ترتیب $83/88$ ، $66/06$ و $9/96$ درصد بود. در همین زمینه، کاهش شاخص پایداری غشا در اثر شوری توسط محققانی از جمله فاروق و اعظم (Farooq and Azam, 2006) و باتاچارجی و موخرجی (Battacharjee and Mukherjee, 1996) بیان شده است. به نظر می‌رسد تنش‌های محیطی از طریق ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در داخل سلول، موجب کاهش پایداری غشاء و افزایش نشت مواد سیتوپلاسمی از آن شده و در نتیجه افزایش نسبت نشت الکترولیت را به دنبال دارد (Azari et al., 2012).

یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج راسیکو و همکاران (Rasico et al; 2001) مبنی بر کاهش محتوای آب نسبی برگ گیاه گندم ناشی از افزایش تنش شوری مطابقت دارد. از طرفی محتوای آب نسبی برگ نیز در گیاهچه‌های همزیست، نسبت به گیاهچه‌های شاهد، افزایش نشان داد به طوری که این در افزایش تلقیح قارچ‌های Trich، Pi و Trich+Pi نسبت به شاهد به ترتیب بیش از ۱۳، ۱۸ و ۹ درصد بود (شکل ۳-ب). در پژوهش فریک و پیتر (Fricke and Peter, 2002) نیز قارچ *P. indica* توانست محتوای آب نسبی برگ گندم را افزایش دهد. نتایج اثر متقابل شوری و قارچ بر نشت الکترولیت نشان داد که روند تغییرات این صفت در همزیستی قارچ‌های *P. indica* و تریکودرما در پاسخ به افزایش سطوح شوری، به صورت معادله خطی و در همزیستی Trich+Pi و عدم همزیستی قارچی (شاهد) به صورت معادله دو تکه‌ای بود (شکل ۴ و جدول ۲). در گیاهان همزیست شده با قارچ‌های *P. indica* و تریکودرما با افزایش سطوح شوری از صفر تا ۲۴۰ میلی مولار نشت الکترولیت به صورت خطی و به ترتیب با شیب $0/093$ و $0/082$ واحد افزایش یافت. از طرفی، در تیمار شاهد، با افزایش سطوح شوری از صفر تا ۸۰ میلی مولار میزان نشت



شکل ۴- اثر متقابل شوری و پیش تیمار زیستی بر نشست الکترولیت در برگ گیاه گندم (رقم مروارید).

Fig. 4- The interaction effect of salinity and bioprimering on electrolyte leakage in wheat (cv. Morvarid) leaves.

جدول ۲- معادله مناسب توصیف کننده اثر پیش تیمار زیستی بر روند تغییرات نشست الکترولیت در گیاه گندم در پاسخ به سطوح مختلف شوری.

Table 2- Describing equation the bioprimering effect on electrolyte leakage trends in response to different levels of salinity in wheat

پیش تیمار زیستی Bioprimering	نشست الکترولیت Electrolyte leakage
شاهد Control	$y = -0.091x + 39.09$ if $x \leq 77.16$ $y = 0.2389x + 32.06$ if $x > 77.16$ $R^2 = 0.88$ $P = 0.063$ $CV = 11.08$
Pi	$y = 0.93x + 32.48$ $R^2 = 0.74$ $P = 0.012$ $CV = 0.117$
Trich	$y = 0.082x + 30.324$ $R^2 = 0.72$ $P = 0.015$ $CV = 0.119$
Trich+Pi	$y = -0.035x + 41.14$ if $x \leq 131.5$ $y = 0.164x + 36.41$ if $x > 131.5$ $R^2 = 0.54$ $P = 0.44$ $CV = 10.66$

شوری صفر ۱۴/۹۳ درصد کاهش نشان داد. از سوی دیگر، بهبود ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ساقه در گیاهان همزیست شده با قارچ *P. indica* نسبت به شرایط عدم تلقیح مشاهده شد. همچنین، تلقیح بذر با قارچ‌های همزیست به ویژه Pi و Trich+Pi هم در شرایط شاهد و

نتیجه گیری

در مجموع نتایج نشان داد که در بین صفات مورد مطالعه، بیشترین حساسیت را نسبت به تنش شوری نشان داد به طوری که در شوری ۲۴۰ میلی مولار نسبت به

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری آقایان دکتر ولی‌اله بابائی‌زاد و دکتر محمدعلی تاجیک قنبری به‌خاطر همکاری‌های علمی و فراهم نمودن قارچ‌ها و از مساعدت‌ها و حمایت‌های مالی پژوهشکده‌ی ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری قدردانی می‌گردد.

هم شرایط شور، رشد رویشی و محتوای نسبی آب برگ را به صورت قابل‌توجهی افزایش داد. همچنین، نشت الکتروولیت در اثر افزایش تنش شوری روند افزایشی داشت ولی استفاده از پیش‌تیمار زیستی شیب افزایش آن را نسبت به تیمار شاهد کاهش داده و از آسیب بیشتر به گیاه جلوگیری کرد. نتایج این آزمایش همانند مطالعات گذشته در گیاهان دیگر، بیانگر نقش مثبت همزیستی قارچ *P. indica* و تلقیح همزمان تریکودرما و *P. indica* با گیاه گندم به‌ویژه در شرایط شور می‌باشد.

Reference

منابع

- Al-Karaki, G.N., 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*. 10: 51-54.
- Azari, A., S.A.M. Modares Sanavi, H. Askari, F. Ghanati, A.M. Naji and B. Alizade, 2012. Effect of salinity stress on morphological and physiological of canola and turnip (*Brassica napus* and *B. rapa*). (In Persian, with English Abstract) *Iran. J. Crop Sci.* 14: 121-135.
- Anith, K.N., K.M. Faseela, P.A. Archana and K.D. Prathapan, 2011. Compatibility of *Piriformospora indica* and *Trichoderma harzianum* as dual inoculants in black pepper (*Piper nigrum* L.). *Symbiosis*. 55: 11-17.
- Askew, D.J., and M.D. Laing. 1993. An adapted selective medium for the quantitative isolation of *Trichoderma* species. *Plant Pathol.* 42: 686-690.
- Bakhshandeh, E., A. Soltani, E. Zeinali and M. Kallate-Arabi. 2012. Prediction of plant height by allometric relationships in field-grown wheat. *Cereal Res. Commun.* 40: 487-496.
- Battacharjee, S., and A.K. Mukherjee, 1996. Ethylene evolution and membrane lipid peroxidation as indicators of salt injury in leaf tissues of *Amaranthus* seedlings. *Indian J. Exp. Biol.* 34: 279-290.
- Bennett, A.J., and J.M. Whipps. 2008. Dual application of beneficial micro-organisms to seed during drum priming. *Appl. Soil Ecol.* 38:83-89.
- Chang, Y.C., Y.C. Chang, R. Baker, O. Kleifeld and I. Chet, 1986. Increased growth of plants in the presence of the biological control agent *T. harzianum*. *Plant Dis.* 70: 145-148.
- Colmer, T.D., T.J. Flowers and R. Munns, 2006. Use of wild relative to improve salt tolerance in wheat. *J. Exp. Bot.* 57: 1059-1078.
- Diego, A.M., M.R.C. Gulotta, A. Martinez and M.A. Oliva, 2004. The effect of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine in *Prosopis alba*. *Brazilian J. Plant Physiol.* 16: 39-46.
- Emami, A, 1996. Approaches of plant analysis Water and soil institute. *Tech. j.* 1: 982.
- El-Hendawy, S.E., H. Yuncai, G.M. Yakouth, A.M. Awad, S.E. Hafiz and U. Schmidhalter, 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *Europ. J. Agron.* 22: 243-253.
- Feng, G., Li, X.L, Zhang, F.S, Tian, C.Y, and Tang, C. 2002. Improved tolerance of maize plant to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*. 12: 185-190.
- FAO, 2010. FAO statistical databases. Food and Agriculture Organization. Available at <http://www.faostat.fao.org>.
- Fricke, W., and W.S. Peter, 2002. The biophysics of leaf growth in salt-stressed. A study at the cell level. *Plant Physiol.* 129: 374-388.

- Farooq, S., and F. Azam, 2006.** The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. *J. Plant Physiol.* 163: 629-637
- Ghabooli, M., F. Shahriyari, M. Sepehri, H. Marashi and Gh. Hossieni Salkadeh, 2011.** Effect of endophytic fungus *Piriformospora indica* on some properties of barley (*Hordeum vulgare* L.) under drought stress. (In Persian) *J. Agroecol.* 3:328-333.
- Gravel, V., H. Antoun and R.J. Tweddell, 2007.** Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biol. Biochem.* 39: 1968-1977.
- Hajinia, S., M.J. Zare, A. Mohammadi Goltape and F. Rejali, 2010.** Effect of *Piriformospora indica* fungi and *Azospirillum* Sp. Bacteria on salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* cv. Sardary). *J. Environ. Stress.* (In Persian) *Crop Sci.* 4: 21-31.
- Kaefer, E. 1977.** Meiotic and mitotic recombination in *Aspergillus* and its chromosomal aberrations. *Adv. Genet.* 19: 33–131.
- Kurban, H., H. Saneoka, K. Nehira, R. Adilla, G.S. Premachandra and K. Fujita, 1999.** Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagi pseudoalhagi* (Bieb.). *Soil Sci. Plant Nutr.* 45: 851–862.
- Kumari, R., H. Kishan, Y.K. Bhoon and A. Varma, 2003.** Colonization of cruciferous plants by *Piriformospora indica*. *Curr. Sci.* 85: 1672 –1694.
- Kapoor, R., B. Giri and K.G. Mukerji, 2004.** Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresour. Technol.* 93:307-311.
- Kafi, M. 1998.** Effect of salinity on photosynthetic of sensitive and tolerant wheat varieties. The fifth Congress abstracts Crop Iran.
- Manafi, H. 2010.** Influence of mycorrhizosphere on soil hydraulic properties and tomato tolerance to water deficit stress. MSc Thesis, Univ of Tabriz, Iran.
- Mohammad, M., R. Shibli, M. Ajouni and L. Nimri, 1998.** Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.* 21: 1667–1680.
- Mirmohamadi Meybodi, S.A.M., and B. Ghareyazi. 2002.** Physiological aspects and breeding of salinity stress in plants. Esfahan Univ.
- Mass, E.V., G.J. Hoffman. 1977.** Crop tolerance current assessment. *J. Irrig. Drain Div.* 103:115-134.
- Mastouri, F., Th. Björkman, G.E. Harman. 2010.** Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. *Biol. Control.* 100: 1213-1221.
- Mahmood, S., Sh. Iram and H.R. Athar, 2003.** Intra-specific various quantitative and qualitative attributes under differential salt region. *J. Res. Sci.* 14:177-186.
- Mottaghian, A., H. Pirdashti, M.A. Bahmanyar, A. Shahsavari and R. Hasanpour, 2009.** Effect of three *Trichoderma* species and different amounts of enriched municipal waste compost on growth parameters in spinach (*Spinacia oleracea*). In: Proceedings of 5th International Scientific Conference of Iran and Russia on Agricultural Development Problems. Saint Petersburg, Russia, 8-9 October: 267-270.
- Mottaghian, A., H. Pirdashti., M.A. Bahmanyar, A. Shahsavari and R. Hasanpour. 2013.** Response of growth characteristics and nutrients uptake of basil (*Ocimum basiilicum* L.) to concomitant use of municipal waste compost and three species of *Trichoderma*. (In Persian, With English abstract). *Ir J. Med. Aromat. Plants.* 29: 358-372.
- Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239-250.
- Nasir Khan, M., M.H. Siddiqui, F. Mohammad, M. Mansoor, A. Khan and M. Naeem, 2007.** Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis, proline accumulation and yield in linseed genotypes. *World J. Agri. Sci.* 5: 685-695.
- Levitt, J. 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water, Radiation, Salt and Other Stresses. 2nd Vol. Academic Press, New York.
- Paul, E.A and F.E. Clark, 1989.** Soil Microbiology and Biochemistry, Academic Press, London.

- Prasad, R., U.S. Bagde, P. Pusangadan and A. Varma, 2008.** Pharmacological Aspects and Study Involving *Piriformospora indica* on *Bacopa monniera* L. Int. J. Integrat. Biol. 3:100-120.
- Peskan-Berghoefer, T., B. Shahollaria, PH. Giong, S. Hehl, C. Markerta, V. Blanke, G. Kost, A. Varma and R. Oelmeuller, 2004.** Association of *Piriformospora indica* with *Arabidopsis thaliana* roots represents a novel system to study beneficial plant–microbe interactions and involves early plant protein modifications in the endoplasmatic reticulum and at the plasma membrane. Physiol. Plant. 122: 465 – 477.
- Rai, M., D. Acharya, A. Singh and A. Varma, 2001.** Positive growth responses of the medicinal plants *Spilanthes calva* and *Withania somnifera* to inoculation by *Piriformospora indica* in a field trial. Mycorrhiza. 11: 123–138.
- Rasico, A., M.M. Russa, L. Azzucco, C. Plantani, G. Nisastro and N.D. Fonx, 2001.** Enhanced osmotolerance of wheat selected for potassium accumulation. Plant Sci. 160: 41-448.
- Rodriguez, P., A. Torrecillas, M.A. Morales, M.F. Ortuno and M. J. Sanchez-Blanco, 2005.** Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscus Maritimus* plants. Environ. Exp. Botany. 53: 113-123.
- Reggiani, R. Bozo and A. Bertani, 1995.** The effects of salinity on early seeding growth of seeds of three wheat cultivar. Can. J. Plant Sci. 75: 175-177.
- Sepehri, M., N. Saleh Rastin, G. Hossieni Salkedeh and M. Khayam Nekoui. 2009.** Effect of endophytic fungus *Piriformospora indica* on growth and resistance of *H. vulgare* L. to salinity stress. (In Persian). Rangeland J. 3:508-518.
- Salimi Tamali, N., F. Seraj, H. Pirdashti, Y. Yaghoubian. 2014.** The effect of seed biopriming by *Piriformospora indica* and *Trichoderma virens* on the growth, morphological and physiological parameters of mung bean (*Vigna radiate* L.) seedlings. (In Persian, With English abstract). Seed Sci. Res. 1:75-90.
- Schonfeld, M.A., R.C. Johnson, B. Carver and D.W. Morhinweg, 1988.** Water relation in winter wheat as drought resistance indicator. Crop Sci. 28: 526-531.
- Sharma, H.S.S., M. Kilpatrick, F. Ward, G. Lyons and Burns. L, 1999.** Colonization of phase II compost by biotypes of *Trichoderma harzianum* and their effect on mushroom yield and quality. Appl. Microbiol Biotechnol. 51: 572-578
- Shahsavari, A., H. Pirdashti, A. Motaghiyan and M.A. Tajik Ghanbari. 2010.** Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) growth parameters and yield to co-inoculation of farmyard manure, *Trichoderma* spp. and *Pseudomonas* spp. (In Persian) J. Agroecol. 2:448-458.
- Soltani, A. 2012.** Use of SAS software in statistical analysis. Publications univ of Mashhad.
- Teutonica, R.A., J.P. Palta and T.C. Osborn, 1993.** In vitro freezing tolerance in relation to winter survival of rapeseed cultivars. Crop Sci. 33: 103-107.
- Vessey, J.K. 2003.** Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil. 255: 571-586.
- Yano-melo, A.M., J.D. Saggin, L.C Maia. 2003.** Tolerance of mycorrhized banana (*Musa sp.cv.Pacovan*) plantlets to saline stress. Agric. Ecosyst. Environ. 95: 343-348.
- Yazdani, M., H. Pirdashti, M.A. Tajik and M.A. Bahmanyar. 2009.** Effect of *Trichoderma* spp. and different organic manures on growth and development in soybean (*Glycine max* L. Merrill). Electeron. J. Crop Prod. 1: 65-82.
- Yarnia, M., H. Heydari Sharif Abad, A. Hashemi Dezfuli, F. Rahim Zadeh Khui and A. ghalavand. 2011.** Evaluation of tolerance to salinity in alfalfa lines (*Medicago sativa* L.). (In Persian) Ir J. Agri. Sci. 3(4): 12-26.
- Zarea, M. J., S. Hajinia, N. Karimi, E. Mohammadi Goltapeh, F. Rejali, A. Varma, 2012a.** Effect of *Piriformospora indica* and *Azospirillum* strains from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. Soil Biol. Biochem. 45: 139-146.
- Zarea, M.J., P. Chordia and A. Varma, 2012b.** *Piriformospora indica* versus Salt Stress, IN: Sebaciales (A. Varma, G. Kost and R. Oelmüller). Springer-Verlag.